



Tiago Xavier
Julião Ramos

**Conceção, prototipagem e teste de gerador de espuma de
limpeza**



**Tiago Xavier
Julião Ramos**

Conceção, prototipagem e teste de gerador de espuma de limpeza

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Vítor António Ferreira da Costa, Professor Associado com Agregação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e do Professor Doutor Jorge Augusto Fernandes Ferreira, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho à minha família pelo apoio e oportunidade de concluir os meus estudos, e à minha namorada cujo apoio foi uma constante ao longo destes últimos anos.

o júri

Presidente

Prof. Doutor Alfredo Manuel Balacó de Moraes

Professor Associado do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Arguente

Eng^o. Marco Jorge Pedrosa Sebastião

Especialista, Engenheiro da empresa Mistolin

Orientador

Prof. Doutor Vítor António Ferreira da Costa

Professor Associado com Agregação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Ao Professor Doutor Vítor Costa pelo apoio concedido, dedicação e orientação durante a realização deste trabalho;

Ao Professor Doutor Jorge Ferreira;

Ao Técnico Sérgio Simões, da Mistolin, que sempre esteve disponível e fez tudo ao seu alcance para este trabalho ser um sucesso;

Aos Engenheiros Marco Sebastião e Alcides Gonçalves, da Mistolin;

À minha família, amigos e namorada que sempre me apoiaram ao longo destes últimos anos;

A todos os colegas e professores do curso.

palavras-chave

sistema gerador de espuma, doseador de Venturi, estrangulador de caudal, limpeza, higienização.

resumo

A utilização de sistemas geradores de espuma para limpeza e higienização de equipamentos e espaços industriais assume uma relevância cada vez maior. Tal levou a que a Mistolin, empresa que atua sobretudo na área dos produtos de limpeza e higienização, mostrasse interesse em dispor de uma solução própria para a geração de espuma usando os seus produtos.

Nesta dissertação concebeu-se, desenvolveu-se e testou-se um sistema gerador de espuma para limpeza e higienização de superfícies e equipamentos industriais, que opera com pressões na ordem dos 20bar, e que poderá ter uma versão móvel ou fixa. Começou-se por pesquisar e analisar sistemas semelhantes ao pretendido existentes no mercado, e avaliadas as suas características, vantagens e inconvenientes. Foram também analisadas as patentes já do domínio livre sobre componentes para equipamentos com o mesmo fim.

Foi concebido, desenvolvido e testado um sistema doseador e um sistema estrangulador para o produto de limpeza, tendo sido encontradas as condições de funcionamento que conduzem a resultados considerados excelentes em termos da qualidade da espuma obtida. Neste processo deu-se especial atenção ao doseador de Venturi, elemento nuclear do sistema doseador, capaz de, apesar da pressão relativamente elevada de entrada da água, gerar uma depressão suficiente para realizar a aspiração do produto de limpeza e higienização.

A solução apresentada baseia-se num doseador a ser obtido especificamente para este fim, sendo os restantes componentes escolhidos de entre os disponíveis no mercado. É apresentada uma pequena lista de eventuais escolhas de equipamentos para esse fim.

Foi sugerido um esquema de montagem para o sistema gerador de espuma e projetada uma proteção para o mesmo, além de um sistema de transporte para a sua versão móvel.

keywords

System for generating foam, Venturi dosing, throttle valve, cleaning, sanitizing.

abstract

The use of foam generating systems for cleaning and sanitizing of equipment and industrial spaces is of increasing relevance. This led Mistolin, a company engaged primarily in the area of cleaning and sanitizing, to have its own solution to generate foam using its cleaning and sanitizing products.

In this dissertation was conceived, developed and tested a system of foam generation for cleaning and sanitizing of surfaces and equipment that operates at pressures of around 20 bar, and may have a fixed or mobile version.

This work started researching and analyzing systems similar to that available in the market, and evaluating their characteristics, advantages and drawbacks. Patents about the components for equipment with the same purpose, which are now free for use, were also analyzed.

It has been designed, developed and tested a dosing system and a throttling valve for the cleaning product, for which were found the operating conditions lead to excellent results in terms of the quality of the obtained foam. Special attention was given to the Venturi, dosing, the core element of the dosing system, capable of, despite the relatively high inlet pressure of water, generating a depression sufficient to perform the suction of the cleaning and/or sanitizing liquid product.

The presented solution is based on a Venturi dosing to be obtained specifically for this purpose, the remaining components being chosen from those available in the market. It is presented a short list of possible choices of equipment for this purpose.

It is suggested the layout for the foam generating system, and proposed a protection for the system. Additionally, it is proposed a transport system for the mobile version of the foam generating system.

Índice de figuras

Figura 1- Gerador de espuma móvel (à esquerda) e fixo (à direita) [1].....	12
Figura 2- Imagem do satélite gerador de espuma e especificações técnicas do modelo SKS02379 produzido pela empresa HOLCHEM [2].....	13
Figura 3- Imagem do satélite gerador de espuma e especificações técnicas do modelo 917105 Hyper Foamer Complete produzido pela empresa Lafferty Equipment Manufacturing [3]...	14
Figura 4- Representação da geometria interna de um Venturi (adaptado de [4]).	15
Figura 5- Tubo de Venturi com câmara de sucção (adaptado de [5]).....	16
Figura 6- Exemplo de uma patente sobre um Venturi com a função de aspirar um líquido para misturar noutro, desenvolvida por David C. Huffman [6].	16
Figura 7- Exemplo de uma patente sobre um Venturi com a função de aspirar um líquido para misturar noutro, desenvolvida por Manne Carlzon [7].....	17
Figura 8- Exemplo de uma patente sobre um Venturi com a função de aspirar um líquido para misturar noutro, desenvolvida por Franklin M. McDougall [8].	17
Figura 9- Representação de um tubo de Venturi [10].	20
Figura 10- Manómetro para medição da pressão de água a médias pressões [11].	23
Figura 11- Regulador de pressão de ar comprimido [12].	23
Figura 12- Exemplo de qualidade de espuma má (a) e boa (b).....	26
Figura 13- Exemplo de gerador de espuma fixo, sem e com estrutura de proteção [14].	28
Figura 14- Bomba doseadora resistente a produtos corrosivos [15].....	30
Figura 15- Representação em corte da secção onde ocorre a redução de secção e aspiração do produto de limpeza no protótipo do sistema de Venturi.	32
Figura 16- Gráfico da pressão de saída da água num tubo de Venturi em função do seu diâmetro menor, com uma pressão de entrada de 20bar.	34
Figura 17- Representação esquemática do protótipo do estrangulador de caudal para produto de limpeza e desinfetante	38
Figura 18- Protótipo de doseador de Venturi gerador de espuma para teste.	42
Figura 19- Representação em corte da secção onde ocorre a redução de secção e aspiração no protótipo do sistema de Venturi revisto.	46
Figura 20- Montagem do protótipo do doseador de Venturi alterado.....	47

Figura 21- Qualidade da espuma em função do caudal de água a diferentes pressões e caudal máximo de produto de limpeza aspirado com orifício de 1,5mm no doseador de Venturi. ..	50
Figura 22- Qualidade da espuma em função do caudal de água a diferentes pressões e caudal máximo de produto de limpeza com orifício de 2,0mm no doseador de Venturi.	50
Figura 23- Gráfico da qualidade da espuma em função do caudal de água a diferentes pressões e caudal máximo de produto de limpeza com orifício de 2,5mm no doseador de Venturi.	51
Figura 24- Montagem do sistema utilizado para testar o estrangulador de caudal do produto de limpeza.	52
Figura 25- Imagem do estrangulador de produto de limpeza/desinfetante.	53
Figura 26- Exemplo de possível escala para regulador de caudal de produto de limpeza.	55
Figura 27- Caudal de ar comprimido em função da pressão de entrada da água	58
Figura 28- Esquema do sistema gerador de espuma.	59
Figura 29- Possibilidade de construção para a caixa de proteção do sistema gerador de espuma.	64
Figura 30- Pormenores da solução criada para a caixa de proteção.	66
Figura 31- Representação de uma solução para o suporte móvel.....	67
Figura 32- Representação da solução encontrada para o encaixe rápido do sistema gerador de espuma e enrolamento do tubo de aplicação de espuma.	68

Índice de Tabelas

Tabela 1- Variação da pressão de entrada da água (em bar) em função do diâmetro do bico injetor e do caudal.	36
Tabela 2- Diâmetro do furo interior do estreitamento: 2 [mm].	43
Tabela 3- Diâmetro do furo interior do estreitamento: 3 [mm].	43
Tabela 4- Diâmetro do furo interior do estreitamento: 2 [mm].	44
Tabela 5- Diâmetro do furo interior do estreitamento: 3 [mm].	44
Tabela 6- Diâmetro do furo interior do injetor: 1,5 [mm].	47
Tabela 7- Diâmetro do furo interior do injetor: 2 [mm].	48
Tabela 8- Diâmetro do furo interior do injetor: 2,5 [mm].	48
Tabela 9- Resultados dos testes realizados ao estrangulador de caudal do produto de limpeza. ...	54
Tabela 10- Medições de caudal de ar comprimido.	57
Tabela 11- Listagem de componentes.	62

Índice

1.	Introdução	7
1.1.	Motivação e objetivos.....	7
1.2.	Contribuições esperadas.....	9
1.3.	Organização do trabalho.....	10
2.	Revisão bibliográfica.....	11
2.1.	Equipamentos geradores de espuma para limpeza e higienização industrial	11
3.	Estudo e desenvolvimento de soluções	19
3.1.	Estudo dos componentes essenciais do sistema	19
3.1.1.	Sistema doseador de Venturi	19
3.1.2.	Sistema de regulação do caudal de produto de limpeza e desinfetante	21
3.2.	Equipamento de medida.....	22
3.2.1.	Medição de pressão	22
3.2.2.	Medição de caudal.....	24
3.3.	Corrosão e materiais.....	25
3.4.	Avaliação da qualidade da espuma	26
3.5.	Análise de soluções.....	27
3.5.1.	Solução de base	28
3.5.2.	Solução alternativa	30
3.6.	Desenvolvimento do sistema doseador de Venturi	31
3.7.	Desenvolvimento de estrangulador de caudal de produto de limpeza aspirado	37
4.	Teste e validação das soluções.....	41
4.1.	Testes ao sistema doseador de Venturi.....	41
4.1.1.	Testes.....	41
4.1.2.	Resultados:	43
4.2.	Testes completos, incluindo avaliação da qualidade da espuma formada	45
4.2.1.	Testes.....	46

4.2.2.	Resultados	47
4.3.	Testes ao estrangulador de caudal do produto de limpeza e desinfetante	52
4.4	Avaliação do caudal de ar comprimido requerido	56
5.	Componentes do sistema e montagem	59
5.1.	Sistema com bomba e sistema sem bomba	59
5.2.	Listagem de componentes, incluindo possibilidades concretas de realização	61
5.3.	Proteções para sistema móvel e fixo	64
6.	Conclusões e sugestões	71
Anexo 1-	Desenhos técnicos.....	77

1. Introdução

1.1. Motivação e objetivos

Os processos de limpeza têm sofrido diversas evoluções, incluindo o recurso a sistemas cada vez mais evoluídos e por vezes automatizados, que muitas vezes não estão isentos de problemas. A limpeza de superfícies através de *sprays* não permite o contacto suficiente entre o produto e a superfície para que este atue de forma eficaz. A limpeza utilizando máquinas de alta pressão é causa frequente de avaria dos equipamentos a limpar e de problemas para os utilizadores das máquinas de limpeza. Com a introdução de sistemas de geração de espuma para limpeza que funcionam a baixa e média pressão este problema foi praticamente ultrapassado.

A limpeza com espuma oferece uma boa solução para os requisitos de limpeza de equipamentos e espaços de várias indústrias, possibilitando alta eficácia e eficiência de limpeza, bem como uma maior segurança para equipamentos e utilizadores.

As espumas quando aplicadas são bem visíveis, permitindo verificar se todas as superfícies estão devidamente cobertas de espuma. Quando esta espuma para lavagem de superfícies é combinada com lavagem de baixa ou média pressão, é possível obter uma melhor performance de lavagem associada a mais baixos custos.

Este tipo de lavagem com espuma pode ser utilizado, por exemplo, na indústria alimentar, em grandes cozinhas, em espaços e equipamentos de processamento de alimentos, matadouros, indústrias de laticínios, cervejaria e fábricas de bebidas. Pode ainda ser utilizado em outras indústrias e aplicações, como a limpeza de superfícies e instalações e equipamentos industriais em geral.

Os equipamentos de limpeza que geram espuma podem ser utilizados manualmente, aplicando a espuma através de uma lança (vulgarmente designada por pistola), ou com equipamentos automatizados usados para o efeito.

O objetivo deste trabalho é conceber, projetar, prototipar e testar um equipamento gerador de espuma para lavagem de superfícies e instalações e equipamentos industriais em geral. Este equipamento de geração de espuma para limpeza estará disponível em duas vertentes, uma fixa e uma móvel, sendo alimentado por uma rede de ar comprimido e uma rede de água pressurizada.

Este projeto teve a sua origem numa solicitação da empresa *Mistolin*. Esta empresa opera na área do fabrico e comercialização de produtos de higienização e limpeza,

comercializando também sistemas que utilizam os seus produtos como por exemplo equipamentos geradores de espuma para limpeza e higienização.

Será importante desenvolver um gerador de espuma simples e eficaz, que tenha uma elevada longevidade, fiabilidade e que seja de construção económica. Também deve ter uma elevada eficiência de operação, e poder ser utilizado por um operador mesmo com pouca formação ou experiência.

1.2. Contribuições esperadas

Para o desenvolvimento deste projeto foram consultados catálogos técnicos e avaliado o desempenho de alguns equipamentos de geração de espuma disponíveis no mercado. Foram encontradas algumas falhas, principalmente no que respeita às variações de pressão da rede de água pressurizada, o que tem como principal defeito a interrupção da produção de espuma com a qualidade pretendida, ou mesmo a interrupção total da produção de espuma. Com este projeto pretendem-se suprimir algumas dessas falhas encontradas na análise de equipamentos semelhantes atualmente disponíveis.

Pretende-se, ainda, criar um equipamento com set-points facilmente reguláveis através de rápidos ajustes na pressão de entrada da água, pressão do ar comprimido e caudal de produto de limpeza.

Também é esperada a obtenção de um produto com um preço reduzido comparativamente aos existentes no mercado, com maior fiabilidade e facilidade de operação e manutenção.

1.3. Organização do trabalho

O trabalho está estruturado da seguinte forma:

- Análise de soluções possíveis, vantagens, desvantagens e escolha de uma solução em particular que se mostre ser a mais adequada para o fim em vista;
- Análise dos subsistemas necessários ao sistema gerador de espuma;
- Projeto, prototipagem e teste do doseador de Venturi;
- Projeto, prototipagem e teste do estrangulador de caudal de produto de limpeza e desinfetante;
- Desenho do sistema e lista de componentes, com várias possibilidades de realização prática;
- Conclusões e possíveis trabalhos futuros.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Equipamentos geradores de espuma para limpeza e higienização industrial

Os equipamentos geradores de espuma para limpeza e higienização são cada vez mais utilizados na indústria, quer pela sua versatilidade quer pelas exigências crescentes dos processos de higienização e limpeza. Existem vários equipamentos disponíveis no mercado, que trabalham sob as mais variadas condições. Em geral, estes sistemas consistem num dispositivo nuclear que utiliza o efeito de Venturi, devido ao escoamento da água a elevada velocidade, para fazer a sucção do líquido de higienização e limpeza do reservatório que o contém, ao qual chamaremos produto de limpeza, e assim o misturar com a água, sendo injetado o ar comprimido de seguida, produzindo uma espuma consistente para limpeza de superfícies e equipamentos industriais. Estes equipamentos além de gerarem espuma também podem realizar outras funções, tais como a aplicação de desinfetante e enxaguamento, conseguindo assim, com um só equipamento, efetuar todas as tarefas relevantes para uma boa, e completa, limpeza.

Este tipo de equipamentos existe em duas versões, móveis e fixas. A Figura 1 apresenta um gerador de espuma fixo e um móvel de uma das várias marcas disponíveis no mercado. O gerador de espuma móvel tem a vantagem de poder ser utilizado em vários locais, ou seja, pode ser facilmente transportado. No entanto, a sua capacidade de trabalho é limitada pela quantidade de água e produto de limpeza que consegue armazenar e transportar, necessitando de uma ligação de ar comprimido para poder ser utilizado. As unidades fixas conseguem trabalhar por longos períodos de tempo, uma vez que são ligadas a redes fixas de ar comprimido e de água pressurizada. Não necessitam de umbilicais, uma vez que estes estão ligados a um satélite acoplado numa parede ou coletor onde será gerada a espuma, apenas tendo um umbilical ligado à pistola de aplicação da espuma. Uma vez que está fixo à parede o seu alcance depende do alcance da tubagem que o liga à pistola de aplicação da espuma. Podem ser utilizados vários satélites ligados à mesma rede de água pressurizada e de ar comprimido em simultâneo, dependendo das necessidades da instalação em que estes equipamentos operam e da capacidade de caudal e pressão dessas redes.



Figura 1- Gerador de espuma móvel (à esquerda) e fixo (à direita) [1].

Existe uma grande abundância de sistemas geradores de espuma no mercado, uma vez que a aplicação de espuma para limpeza e higienização é bastante utilizada atualmente nos mais variados setores industriais. A maioria dos equipamentos encontrados funciona com água da rede de distribuição, operando a baixas ou médias pressões. O facto de este equipamento operar a baixas ou médias pressões impossibilita um controlo preciso das variáveis de entrada no sistema gerador de espuma, além do desempenho deste equipamento estar condicionado às variações de pressão da rede de água.

Equipamentos similares aos que serão abordados neste trabalho são mais raros, existindo alguns modelos no mercado mas com algumas variações entre eles. Estes sistemas geradores de espuma que trabalham com gamas de pressões mais elevadas são utilizados quando se pretende uma boa limpeza e higienização de superfícies ou equipamentos, sendo possível com o mesmo equipamento efetuar o enxaguamento.

Foram encontrados alguns modelos similares ao que se pretende desenvolver neste estudo. Os modelos encontrados são abordados qualitativamente em relação às vantagens e inconvenientes que as suas características apresentam face ao caso que está a ser abordado.

O modelo *SKS02379 - Mimas PF Rinse & Foam Satellite*, produzido pela empresa *HOLCHEM*, é um modelo em tudo semelhante ao pretendido, operando nas gamas de pressão e temperaturas requeridas ao caso em estudo. Permite a regulação manual da dosagem de produto de limpeza e é compacto na sua estrutura, causando pouco impacto no local onde será instalado. Utiliza válvulas de esfera para abrir ou fechar a passagem de

ar comprimido, água pressurizada e espuma, o que permite facilmente ao operador do sistema cessar ou iniciar rapidamente a utilização do gerador de espuma. No entanto, não permite ao operador uma visualização dos valores de entrada da pressão do ar comprimido ou da água pressurizada enquanto este aplica espuma. O nível de automação deste satélite de geração de espuma é nulo pelo que se pode constatar pela imagem da Figura 2. A informação técnica disponível deste modelo é a apresentada na Figura 2.

SKS02379 - Mimas PF Rinse & Foam Satellite

Specification	
Maximum number of operators	1
Minimum water inlet pressure	15 bar
Maximum water inlet pressure	25 bar
Minimum water supply	25 litres/min
Maximum water inlet temperature	70 degrees C
Air supply	8 mm
Minimum air inlet pressure	4 bar
Maximum air inlet pressure	10 bar
Minimum air supply	150 litres/min
Water usage for concentrated product	6-7 l/min
Water inlet connection	1/2"
Pre dilute chemical inlet connection	1/4"
Maximum hose length	30 m
Weight	8 kg
Height	380 mm
Width	380 mm
Depth	190 mm

Figura 2- Imagem do satélite gerador de espuma e especificações técnicas do modelo SKS02379 produzido pela empresa HOLCHEM [2].

O modelo 917105 *Hyper Foamer Complete*, produzido pela empresa *Lafferty Equipment Manufacturing*, foi também analisado. As especificações técnicas e imagem do sistema gerador de espuma são apresentadas na Figura 3.

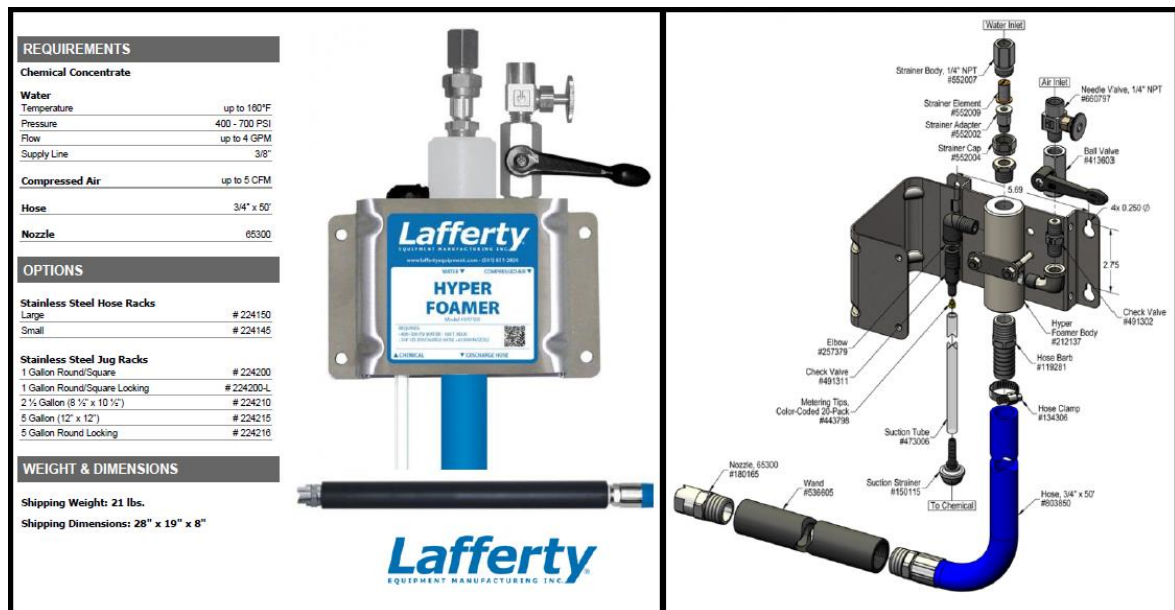


Figura 3- Imagem do satélite gerador de espuma e especificações técnicas do modelo 917105 Hyper Foamer Complete produzido pela empresa Lafferty Equipment Manufacturing [3].

Este modelo assemelha-se ao sistema pretendido para o caso em estudo, sendo um sistema gerador de espuma com uma grande simplicidade, apenas utilizando os componentes essenciais para o seu funcionamento e regulação das variáveis de entrada. Embora se pretenda alcançar algum nível de automação no gerador de espuma, este modelo permite verificar os componentes básicos para a construção de um gerador de espuma de média pressão. Tem dimensões reduzidas, ocupando assim pouco espaço no local onde será instalado, além de ser simples de operar. A regulação do caudal de produto de limpeza é feita por uma ponteira que restringe a sua passagem. Este tipo de regulação é inconveniente em casos em que sejam necessárias regulações frequentes do caudal de produto de limpeza, pois a sua variação é mais demorada que a regulação através de um estrangulador de caudal. A troca das ponteiras também causa desperdício de produto de limpeza, uma vez que irá ficar sempre algum produto nas tubagens. Permite controlar o caudal de ar comprimido por utilização de uma válvula de agulha, e permite abrir ou fechar a passagem de ar comprimido através de uma válvula de esfera. Não permite qualquer controlo manual do sistema para controlar/regular o caudal ou pressão de água na entrada.

A aspiração de produto de limpeza e a injeção de ar comprimido na mistura de água e produto de limpeza ocorre num componente que no modelo da Figura 3 se chama *Hyper Foamer Body*.

Os sistemas de geração de espuma que operam com pressões elevadas fazem uso do efeito de Venturi para fazer a aspiração do produto de limpeza e realizar a sua mistura

com a água. Através de um tubo de Venturi, com um forte estreitamento da secção interna de passagem da água, cria-se uma descida de pressão, abaixo da pressão atmosférica, capaz de aspirar o produto de limpeza, adicionando posteriormente ar comprimido, e formando assim a espuma desejada.

A geometria mais usual deste tipo de dispositivos é a ilustrada na Figura 4, onde existe uma redução brusca da secção interna de passagem da água, seguindo-se uma expansão progressiva da secção interna. A sucção do produto de limpeza é feita na zona onde o estreitamento é maior. Existe a possibilidade de controlar a quantidade de líquido aspirado variando a secção do estreitamento.

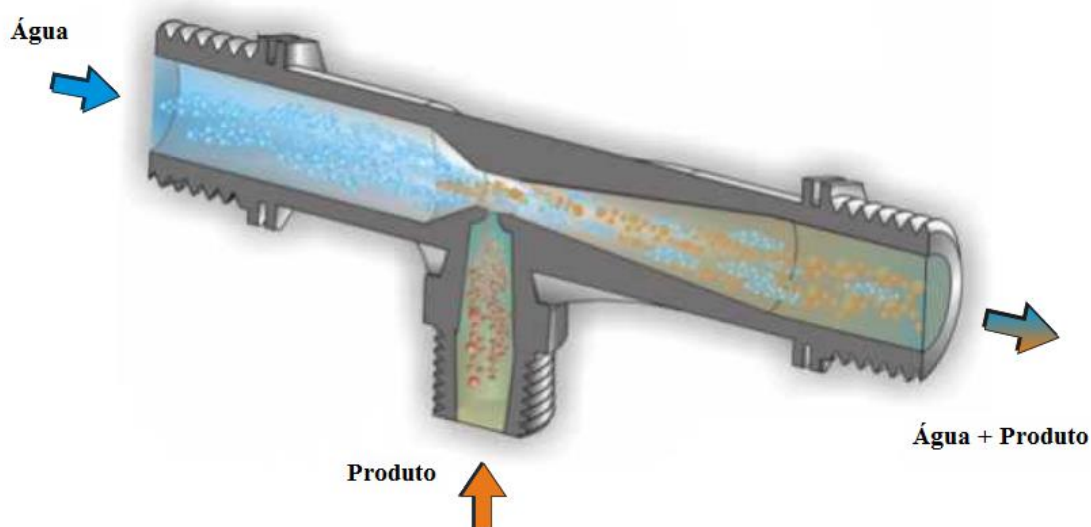


Figura 4- Representação da geometria interna de um Venturi (adaptado de [4]).

Existem ainda outros tipos de tubos de Venturi usados para sucção de líquidos. Um dos mais usuais é o apresentado na Figura 5, em que na zona seguinte ao estreitamento da secção existe uma cavidade onde a pressão é reduzida e onde ocorre a sucção. Este tipo de geometria permite uma sucção constante de líquido, praticamente independente das variações de pressão a que o tubo a jusante do estreitamento está sujeito. Este é um aspeto essencial para se obter um bom sistema de doseamento de líquido.

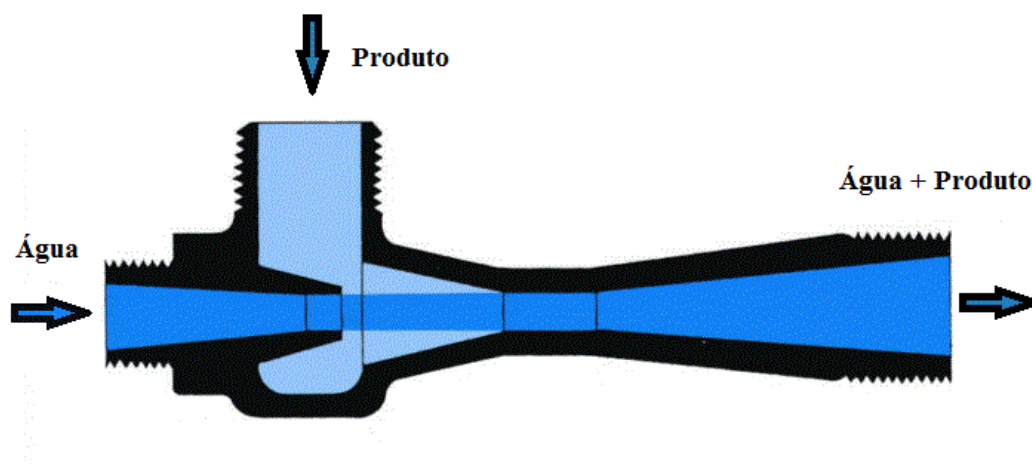


Figura 5- Tubo de Venturi com câmara de sucção (adaptado de [5]).

Foram também consultadas algumas patentes encontradas, que já se encontram no domínio público. As patentes mais relevantes que foram encontradas são apresentadas nas Figuras 6, 7 e 8. Pode verificar-se que em termos de geometria interna são semelhantes, pelo que a geometria interna do doseador de Venturi que irá ser utilizada no caso em estudo, não será muito diferente da geometria aí encontrada.

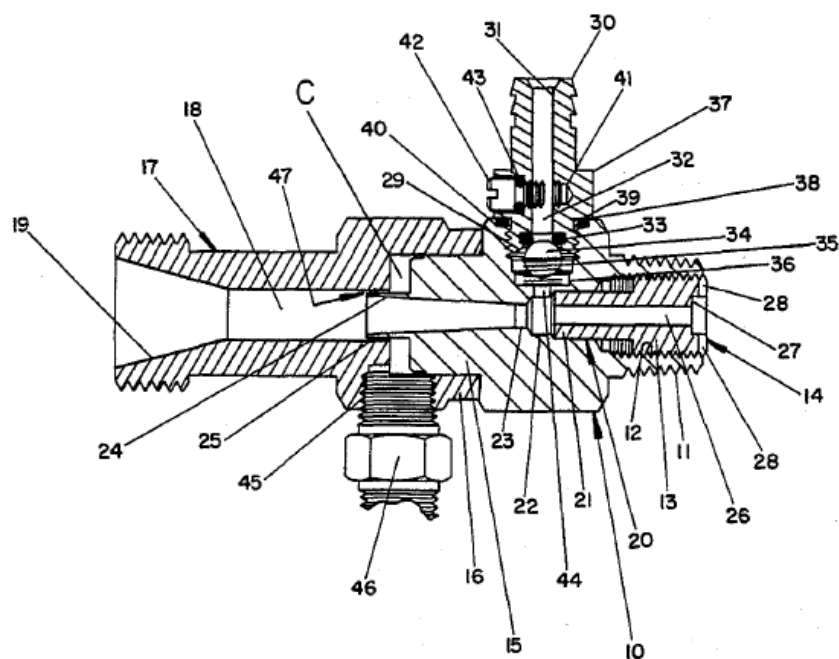


Figura 6- Exemplo de uma patente sobre um Venturi com a função de aspirar um líquido para misturar noutro, desenvolvida por David C. Huffman [6].

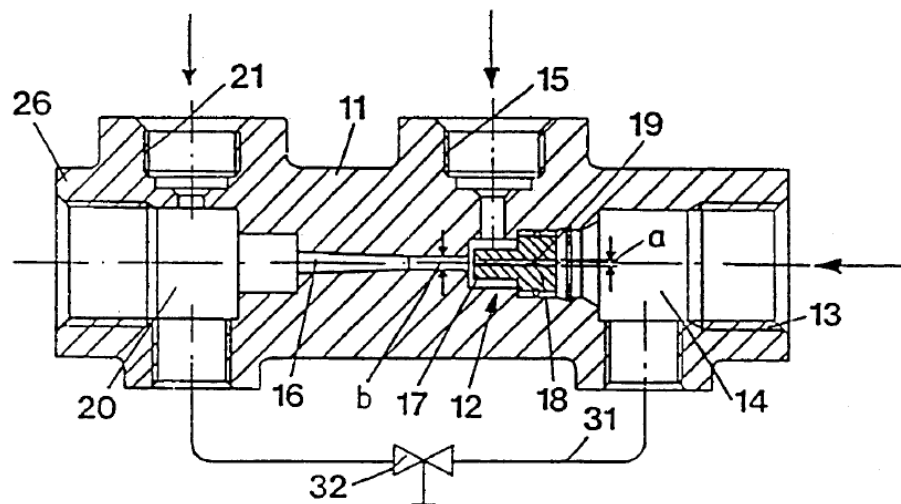


Figura 7- Exemplo de uma patente sobre um Venturi com a função de aspirar um líquido para misturar noutro, desenvolvida por Manne Carlzon [7].

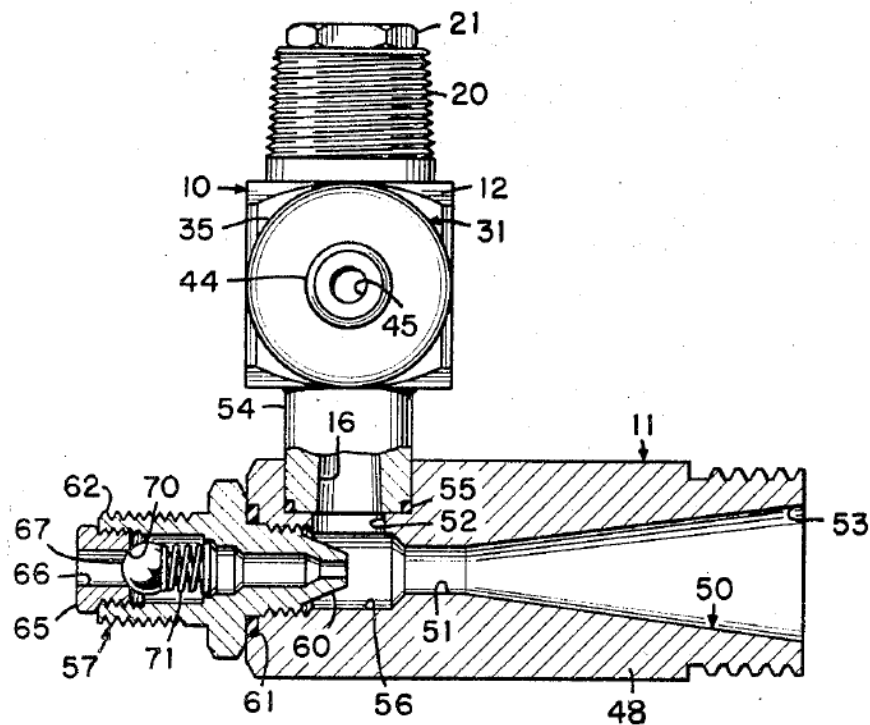


Figura 8- Exemplo de uma patente sobre um Venturi com a função de aspirar um líquido para misturar noutro, desenvolvida por Franklin M. McDougall [8].

Todos os Venturi apresentados nas patentes referidas nas Figuras 6,7 e 8 têm como função primária a aspiração e mistura de líquidos, podendo ter ainda outras funções além das referidas; no entanto, a sua geometria interna é semelhante na zona de entrada. Existe uma redução acentuada na secção de passagem do líquido de entrada, sendo a aspiração do outro líquido realizada à saída da zona do estreitamento, onde a pressão é mais baixa. Embora as geometrias das figuras apresentadas sejam bastantes diferentes a partir desta zona de baixa pressão, é previsível que para um doseador que se aplique ao caso em estudo sejam semelhantes.

3. Estudo e desenvolvimento de soluções

3.1. Estudo dos componentes essenciais do sistema

3.1.1. Sistema doseador de Venturi

A velocidade do fluido (água) aumenta à medida que a sua secção de passagem diminui, verificando-se uma redução de pressão correspondente a esse aumento de velocidade. De acordo com as leis que governam a dinâmica dos fluidos e a conservação de energia, a velocidade do fluido deve aumentar quando este passa por uma contração da secção de passagem, satisfazendo assim o princípio da continuidade, enquanto a pressão deve baixar de forma a satisfazer o princípio da conservação de energia. Assim, o ganho de energia cinética (velocidade) do fluido ao passar pelo estreitamento é compensado pelo abaixamento de pressão (Equação de Bernoulli).

A equação para a determinação do abaixamento de pressão devido ao efeito de Venturi pode ser obtida através de uma combinação da equação de Bernoulli e da equação da continuidade. Usando a equação de Bernoulli para o caso de fluidos essencialmente incompressíveis (como é o caso da água), e tendo por referência a Figura 9, o aumento de velocidade devido à redução de secção e o consequente abaixamento de pressão é regido pela equação [9]:

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho}{2}(v_2^2 - v_1^2) \quad (3.1)$$

em que ρ é a massa volúmica do líquido, v_1 é a velocidade (menor) na zona em que a secção de passagem é maior (e a pressão é maior) e v_2 é a velocidade (maior) na zona em que a secção de passagem é menor (e a pressão é menor). Assumindo que o fluido não sofre uma compressão significativa, ainda que a pressão varie, o que é perfeitamente aceitável para o caso da água líquida, a sua massa volúmica é considerada constante no presente contexto.

Se $v_2 \gg v_1$, $P_2 \ll P_1$, podendo mesmo ser $P_2 < P_{atmosférica}$, pode ser usado o efeito de Venturi para promover a sucção do líquido de higienização e limpeza do reservatório que o contém e ser misturado na água.

Os Venturi podem também ser utilizados para medição de caudal volumétrico, sabendo que é dado pela seguinte expressão:

$$Q = v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad (3.2)$$

e tendo em conta a equação da diferença de pressão, vem:

$$Q = A_1 \sqrt{\frac{2}{\rho} \times \frac{(P_1 - P_2)}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}} = A_2 \sqrt{\frac{2}{\rho} \times \frac{(P_1 - P_2)}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \quad (3.3)$$

Os resultados fornecidos pelas Eqs. (3.1) e (3.3) são apenas indicativos, e quanto maior for a severidade das condições a que os líquidos são sujeitos ao atravessar o Venturi maior é a necessidade de aferir experimentalmente os resultados por elas fornecidos.

Um Venturi pode ser utilizado ainda para misturar um líquido com um gás. Se uma bomba forçar um líquido através de um tubo ligado a um sistema de Venturi, que na zona de secção menor tenha um pequeno furo no tubo, o gás vai ser aspirado devido ao abaixamento de pressão nessa zona, tal como expresso pela equação (3.1), ocorrendo uma mistura de gás e líquido.

As aplicações do efeito de Venturi são muito mais variadas, e especialmente usadas em campos como, por exemplo, a hidráulica, a aeronáutica, carburadores, aquarofilia ou pneumática.

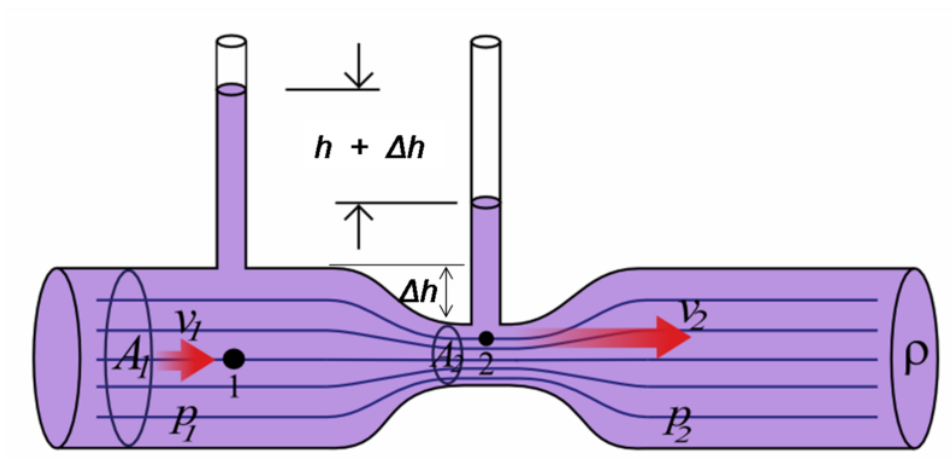


Figura 9- Representação de um tubo de Venturi [10].

Uma das várias aplicações do efeito de Venturi é a aspiração e mistura de líquidos. Através deste princípio é utilizada a depressão criada na zona de secção menor para

aspirar o líquido que vai ser misturado com o caudal principal de um outro líquido (neste caso água). Um dos problemas mais frequentes na dosagem de uma solução líquida é a padronização, não se conseguindo uma grande precisão na composição da solução, o que em alguns casos ou aplicações se pode tornar crítico.

Com a utilização de doseadores do tipo Venturi pode-se dosear automaticamente a quantidade de produto a ser misturada em água ou outro líquido. Se antes disso o líquido que é aspirado para a mistura passar por um dispositivo de medição, pode também ser controlada a dosagem de forma simples.

Este tipo de doseadores é utilizado em vários setores industriais. Um caso específico onde ocorre o uso deste tipo de doseadores é nas máquinas geradoras de espuma para limpeza, higienização e desinfecção de superfícies e equipamentos industriais. O princípio de Venturi tem também aplicações comuns para doseamento de fertilizantes no setor agrícola.

3.1.2. Sistema de regulação do caudal de produto de limpeza e desinfetante

Para conseguir uma boa regulação da qualidade da espuma é necessário controlar todas as variáveis de entrada do gerador de espuma. O caudal de produto de limpeza é da maior importância a esse respeito, pois um caudal de produto baixo pode gerar uma espuma de má qualidade e pouco consistente, sendo que um caudal excessivo desperdiça produto de limpeza ou desinfetante e não conduz necessariamente à espuma de melhor qualidade para o fim em vista. Torna-se então importante regular este caudal uma vez que, definida a geometria do sistema, a qualidade da espuma varia em função de três parâmetros: a pressão de entrada da água, a pressão de fornecimento do ar comprimido e o caudal de produto de limpeza aspirado.

Para regular o caudal de produto de limpeza é necessário ter em conta dois aspetos importantes: o caudal e a sua natureza corrosiva. O dispositivo de regulação para este tipo de materiais terá obrigatoriamente de funcionar com caudais baixos, o outro aspeto importante é a sua resistência à corrosão, pois o produto quando passa pelo regulador de caudal vai estar na sua máxima concentração, o que o torna extremamente corrosivo para alguns materiais, pelo que a escolha correta dos materiais é de vital importância para assegurar a longevidade deste componente.

Também é importante verificar que, devido à especificidade deste componente, caso exista no mercado um componente com as características descritas deve ser considerado

se o seu custo trará benefício para o gerador de espuma, pois o preço pode aumentar significativamente com o nível de automação do regulador de caudal, sendo necessário analisar quais as vantagens e desvantagens de utilizar um regulador de caudal com atuação automática ou manual.

3.2. Equipamento de medida

Para controlar as variáveis de entrada de um gerador de espuma é necessário encontrar o equipamento correto que suporte as condições a que este gerador de espuma vai estar sujeito. É necessário encontrar equipamentos que consigam suportar pressões médias, na ordem dos 25bar, que será a pressão máxima a que poderá estar exposto o sistema, e que tenham boa resistência à corrosão causada por ação dos produtos que neles fluem, e que sejam economicamente viáveis para o projeto.

Referem-se a seguir os métodos usados para realizar as medições das grandezas de interesse para ensaio e teste do sistema gerador de espuma, e para o estabelecimento das suas curvas de funcionamento, sendo que aquando da sua operação apenas existem disponíveis os instrumentos para medição da pressão de entrada da água e para medição da pressão do ar comprimido.

3.2.1. Medição de pressão

A pressão de entrada da água e a pressão de entrada de ar são duas das variáveis mais importantes no que respeita à formação e qualidade da espuma. Será importante conseguir controlar estas variáveis para um rápido ajuste de set-points caso a aplicação a que o gerador de espuma vai estar sujeito assim o exija.

Uma vez que para o funcionamento de um gerador de espuma de média pressão será necessária água a uma pressão na ordem dos 20/25bar, uma bomba de água ou uma rede de água pressurizada é imprescindível para um sistema deste tipo. No entanto, como são necessários ajustes a esta pressão é imprescindível o uso de um redutor de pressão. Este pode ser regulado automaticamente ou manualmente, para o que se deve incluir um manómetro associado instalado a jusante do redutor de pressão. Um redutor de pressão automático poderá ser utilizado caso seja possível, ou desejável, o controlo automático de todas as variáveis de entrada do sistema, de modo a conseguir ajustar os set-points através de uma consola ou de uma interface semelhante. A Figura 10 mostra um manómetro utilizado para medição da pressão de água a pressões médias.



Figura 10- Manómetro para medição da pressão de água a médias pressões [11].

No caso do ar comprimido, é necessário um redutor de pressão que consiga suportar a pressão de uma rede normal de ar comprimido, que anda próxima dos 6bar (relativos). A sua automação, à semelhança do que acontece no caso da água a média pressão, depende do nível de automação da regulação das outras variáveis de entrada do gerador de espuma. Caso seja impossível o controlo automático de todas estas variáveis opta-se por um controlo manual, tanto para o ar comprimido como para a água pressurizada. A Figura 11 mostra um regulador de pressão de ar comprimido.



Figura 11- Regulador de pressão de ar comprimido [12].

3.2.2. Medição de caudal

De modo a conhecer o comportamento de um gerador de espuma será necessária a medição e o controlo de caudal da água, caudal de ar comprimido e caudal do produto de limpeza/desinfetante, e de como estes variam, ou devem variar, quando um dos outros é alterado.

Para conseguir uma comparação entre caudais, a geometria interior do doseador de Venturi será apenas alterada após serem obtidos todos os caudais de entrada. Assim será possível ter em conta a variação destes caudais em função da geometria interna do doseador de Venturi, que neste caso será variação do diâmetro mais pequeno no seu interior (estreitamento).

A medição dos caudais será sempre feita com o mesmo estreitamento do doseador de Venturi. Assim que terminadas as medições será alterado o diâmetro do estreitamento do doseador de Venturi, voltando a realizar-se as medições dos caudais para uma outra geometria interna. Deste modo é possível avaliar a relação entre os caudais e a geometria interna do doseador de Venturi.

No caso do caudal de água, este não pode ser controlado diretamente, sendo que este depende da geometria interna do doseador de Venturi e da diferença de pressão da água entre a sua entrada e a sua saída. Uma vez que esta geometria permanecerá inalterada para cada um dos testes aos caudais, o caudal varia consoante as variações de pressão impostas. Para efetuar as medições do caudal de água consoante a pressão de entrada da água, é cronometrado o tempo que é necessário para o escoamento de um determinado volume de água, sem sucção de produto de limpeza, uma vez que com a formação de espuma seria impossível verificar o caudal de água que o doseador de Venturi estaria a debitar. O caudal de produto é muito pequeno quando comparado com o caudal de água, pelo que o erro em que se incorre ao não considerar o caudal de produto aspirado nesta medição é perfeitamente aceitável. Desta forma é possível construir graficamente a variação de caudal de água em função da pressão de entrada da água, conseguindo facilmente um ajuste deste caudal, caso seja necessário, por atuação sobre a pressão de entrada de água. Criando um gráfico que represente o caudal de água em função da pressão de entrada, é esperado obter uma curva na forma de parábola *deitada*, sendo que a um aumento de pressão de entrada da água corresponde um aumento do caudal de água.

Em relação ao produto de limpeza, o seu caudal depende da geometria interna do doseador de Venturi e da pressão de entrada da água, à semelhança do caudal da água, sendo possível prever a sua variação construindo tabelas ou gráficos em que este é uma função da pressão de entrada da água, uma vez que a geometria do doseador de Venturi

será inalterada para cada caso. Tendo em conta que o caudal de produto de limpeza vai ser baixo, será utilizada uma proveta graduada de 500mL, sendo cronometrado o tempo que é necessário para o doseador de Venturi aspirar um determinado volume de produto de limpeza.

3.3. Corrosão e materiais

Para assegurar a segurança do utilizador, e a longevidade do sistema gerador de espuma, os materiais que o constituem devem ser corretamente escolhidos, dependendo do tipo de aplicações, produtos de limpeza e condições de operação a que o equipamento irá estar sujeito.

Tendo em conta o produto de limpeza e o desinfetante comumente usados, e a sua composição, a substância que mais problemas pode trazer ao equipamento em termos de corrosão é o hidróxido de sódio, que sendo uma base forte rapidamente danifica uma grande variedade de materiais.

Alguns materiais têm uma boa resistência a este tipo de bases fortes, sendo largamente utilizados em aplicações semelhantes à que se pretende. Os materiais mais comuns em componentes resistentes à corrosão podem ser metais como o aço inoxidável 316L e 304, o ferro fundido, hastelloy “C” ou o titânio. Também existem diversos polímeros que podem ser utilizados para este fim, como o acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), o policloreto de vinilo (PVC), o fluoreto de polivinilideno (PVDF), o politetrafluoretileno (PTFE) usualmente referido como Teflon, o polipropileno (PP) e o polietileno de alta densidade (PEHD) [13]. Uma vez que existem alguns componentes sujeitos a elevadas pressões num gerador de espuma, é importante que estes sejam construídos em materiais metálicos de modo a terem a resistência mecânica necessária. No caso de outros componentes não sujeito a pressões elevadas podem ser construídos num outro material que seja essencialmente resistente à corrosão, como os polímeros referidos, sendo mais utilizado o PTFE.

Ainda pode ser referido que mesmo sob pressão os polímeros mencionados apresentam uma boa resistência mecânica, pelo que caso fosse necessário poderia substituir-se o metal utilizado no doseador de Venturi por PP ou PTFE, efetuando algumas alterações ao componente de modo a este suportar a pressão sem risco de se danificar.

3.4. Avaliação da qualidade da espuma

A qualidade da espuma é um dos fatores mais importantes na seleção e operação de um equipamento gerador de espuma. É importante que o equipamento se possa adaptar às diferentes necessidades da indústria, conseguindo criar espumas mais volumosas e que criem uma camada espessa, ou espumas menos volumosas criando uma camada de espuma menos espessa sobre uma superfície. Para tal é descrito como a qualidade da espuma é avaliada no projeto a desenvolver.

A avaliação da qualidade da espuma foi feita numa escala de 1 (muito má) a 5 (excelente) por um técnico experiente da empresa *Mistolin*. Na Figura 12 é possível verificar a diferença entre uma qualidade de espuma má e uma qualidade de espuma boa.

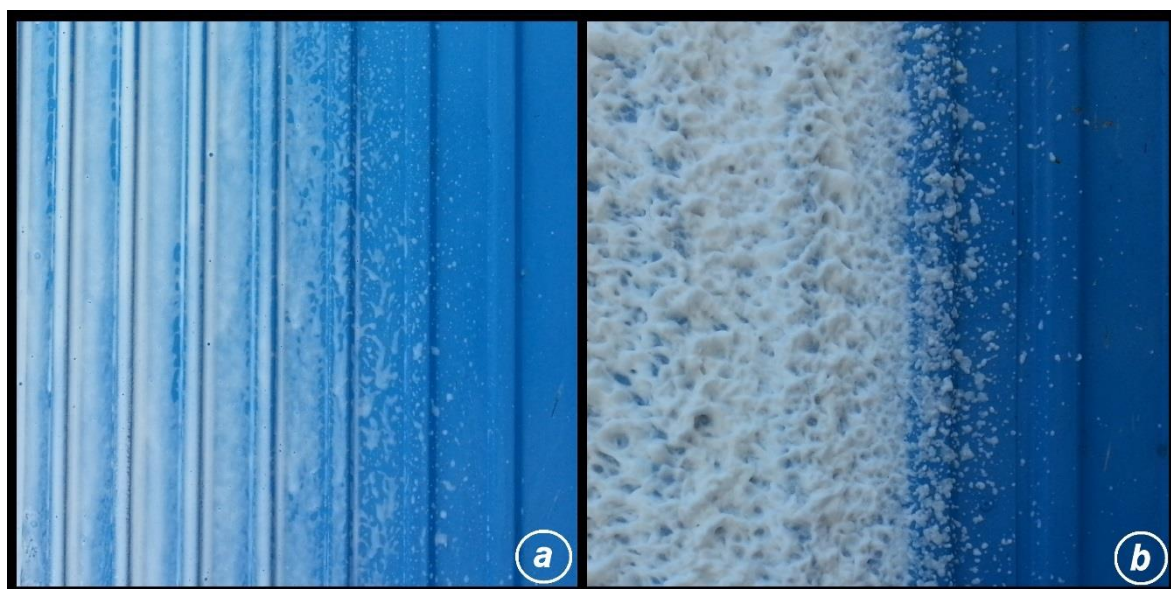


Figura 12- Exemplo de qualidade de espuma má (a) e boa (b).

Pela Figura 12 pode verificar-se que a espuma do lado esquerdo é uma espuma pouco volumosa, com muita água e que não se fixa à superfície, sendo considerada uma espuma de qualidade 1. A espuma do lado direito é uma espuma de qualidade 5, uma vez que é volumosa e adere às superfícies durante algum tempo, permitindo uma boa ação de limpeza. Dependendo do caso, a espuma ideal pode variar de alguma forma, sendo geralmente a variável mais importante o volume da espuma, uma vez que em algumas situações é necessária uma espuma mais “seca”, com menos volume e que fica suspensa na superfície mais tempo. Ainda assim, a avaliação da qualidade da espuma depende do

nível de percepção e da experiência do técnico da *Mistolin* que a classifica, tratando-se de um processo subjetivo.

3.5. Análise de soluções

Para o desenvolvimento de um gerador de espuma é necessário estudar as possibilidades disponíveis, comparando soluções, de forma a ir ao encontro do que se afigura ser o melhor resultado possível dentro dos objetivos da empresa que propôs o projeto em estudo.

No decorrer da pesquisa sobre sistemas que poderiam funcionar na geração de espuma foi possível verificar que a maioria dos geradores de espuma utiliza um componente doseador que funciona segundo o princípio de Venturi para aspirar produto de limpeza/desinfetante e o misturar com água, mistura a que posteriormente é adicionado ar comprimido para favorecer a formação de espuma. Para tal é necessário conhecer a relação entre a geometria do componente onde se realiza a aspiração de produto de limpeza e a pressão da água à entrada do gerador de espuma, de tal forma que a redução de pressão provocada seja suficiente para a aspiração pretendida do produto de limpeza, não comprometendo assim a qualidade da espuma que se pretende obter. Esta solução, sendo a mais utilizada, apresenta facilidade no acesso a informações relativas ao seu funcionamento, componentes, principais vantagens e inconvenientes, sendo possível comparar vários modelos presentes no mercado. No entanto, do ponto de vista energético não é a mais eficiente uma vez que existe o consumo de energia para elevar a pressão da água, a qual é de seguida reduzida para possibilitar a aspiração do produto de limpeza. As bombas de água ou sistemas de água pressurizada têm de elevar a pressão desde uma pressão próxima da pressão atmosférica até valores na ordem dos 20bar, de forma a conseguir uma boa qualidade de espuma e um caudal suficiente para as aplicações em causa.

A Figura 13 dá um exemplo de um gerador de espuma disponível no mercado. Embora este sistema funcione apenas a pressões na ordem dos 3/4bar, é um bom exemplo de um gerador de espuma fixo, compacto e fácil de utilizar.



Figura 13- Exemplo de gerador de espuma fixo, sem e com estrutura de proteção [14].

A solução a desenvolver será semelhante ao sistema da Figura 13. Todavia, como vai trabalhar a pressões mais elevadas, serão necessários componentes de proteção do sistema, além de maior facilidade no controlo/regulação da entrada de produto de limpeza, ar comprimido e água, permitindo alterar os set-points facilmente para tornar o sistema mais facilmente ajustável a diferentes necessidades e condições de operação.

3.5.1. Solução de base

A proposta de base apresentada aos representantes da empresa *Mistolin* consiste num gerador de espuma de média pressão, pois é o sistema atualmente mais utilizado no mercado, existindo mais informação disponível e sendo o tipo de sistema com que os técnicos e clientes da empresa usualmente trabalham. Foram definidos os principais objetivos para o projeto em causa, sendo eles a criação de um gerador de espuma que trabalhe sob uma pressão média de água, na casa dos 20/25bar, permitindo a formação de uma espuma de boa qualidade para lavagem e desinfeção sobretudo na indústria alimentar. Este equipamento também deve ser capaz de efetuar as operações de enxaguamento e aplicação de desinfetante

Inicialmente foi necessário distinguir o tipo de gerador de espuma, se seria fixo a uma parede ou se seria criada uma base móvel onde este poderia ser transportado. Uma vez que será sempre necessária uma rede de água pressurizada e uma rede de ar comprimido para o funcionamento deste equipamento, independentemente de este ser móvel ou fixo, foi decidido criar ambas as versões, de modo a conseguir uma mais ampla gama de aplicações e situações onde este equipamento pode ser utilizado e comercializado. Para

tal será criado um gerador de espuma fixo, que, com umbilicais de água pressurizada, ar comprimido e produto de limpeza funcionará com um alcance limitado pelo comprimento da tubagem ligada à pistola de aplicação da espuma. Por outro lado, a unidade móvel apenas necessitará dos umbilicais de ar comprimido e água pressurizada, pois no seu suporte móvel terá um boião de produto de limpeza e um de desinfetante que acompanhará o equipamento, e que permitirá a sua operação durante um dado período de tempo ditado pela quantidade de produto transportada.

O nível de automação do equipamento depende da existência de reguladores de caudal para a água, produto de limpeza e ar, uma vez que caso não seja possível regular um deles de forma automática, devido à inexistência do componente em causa ou devido ao seu elevado custo, todos os parâmetros de entrada do gerador de espuma deverão ser regulados manualmente, pois quem regula manualmente um parâmetro também regula os restantes. Apesar de serem substancialmente mais baratos, os sistemas de regulação manual implicam mais tempo e maior experiência do operador do gerador de espuma quando tiver de alterar os set-points.

Relativamente ao componente que permite a aspiração e posterior injeção de ar comprimido na mistura de água e produto de limpeza, inicialmente foram tidas em conta algumas variações do tubo de Venturi; no entanto, como é necessária uma elevada queda de pressão, foi adotada uma geometria interna onde se reduz drasticamente a secção de passagem da água. Para o projeto deste componente foram consultados alguns desenhos técnicos de misturadores de líquidos através do efeito de Venturi, dos componentes para o mesmo efeito utilizados em equipamentos geradores de espuma, e de algumas patentes.

Poderá também ser criada uma proteção para envolver o gerador de espuma fixo à parede de forma a proteger os seus componentes de possíveis colisões com operadores ou veículos que possam estar a circular perto, ou mesmo da ação da espuma. Embora estes equipamentos sejam construídos para resistir a materiais corrosivos no seu interior, nem sempre o são no seu exterior, onde supostamente não existiria contacto com este tipo de substâncias agressivas. Esta proteção será em aço inoxidável ou num polímero resistente à corrosão.

Também para o gerador de espuma será construída uma estrutura transportável que sustenta todo o sistema, um boião de produto de limpeza e um de desinfetante. As maiores limitações que este tipo de sistema móvel apresenta relacionam-se com o alcance dos umbilicais de água pressurizada e de ar comprimido. O material considerado é o aço inoxidável, uma vez que apresenta muito boa resistência à corrosão quando sujeito à ação de materiais agressivos.

3.5.2. Solução alternativa

Foi proposta uma solução alternativa aos representantes da *Mistolin*, que passava por criar um sistema gerador de espuma em que fosse possível utilizar uma bomba de menor capacidade, para apenas elevar a pressão da água para aproximadamente 5bar, que é o valor da pressão à saída do misturador de água e produto, utilizando também uma pequena bomba, resistente a líquidos corrosivos, que colocasse o baixo caudal de produto de limpeza a uma pressão de 5bar. Com esta solução seria possível utilizar bombas de água menos exigentes, e adicionalmente reduzir o consumo energético do sistema.

Para tal seria fundamental encontrar uma bomba que debitasse um caudal reduzido de líquido de limpeza, a uma pressão de 5bar, e que fosse resistente a materiais corrosivos, nomeadamente bases fortes, que são o tipo de produtos a que esta iria estar sujeita. Após realizada alguma pesquisa foram encontradas várias bombas doseadoras capazes de aspirar o produto de limpeza/desinfetante com os caudais necessários, e na gama de pressão necessária, sendo resistentes a líquidos corrosivos.

A Figura 14 apresenta uma bomba doseadora encontrada no mercado que poderia ser utilizada num tipo de gerador de espuma como descrito, sendo totalmente inerte a produtos corrosivos e conseguindo o débito aproximadamente constante de um caudal baixo com uma pressão de saída na ordem dos 6bar.



Figura 14- Bomba doseadora resistente a produtos corrosivos [15].

Bombas de água que debitem água à pressão de 5/6 bar são bastante comuns no mercado, existindo uma grande variedade de escolha. No entanto, tanto para a bomba de

água como para bomba de produto de limpeza será necessário um regulador/estrangulador de caudal e um redutor de pressão, de modo a conseguir um controlo preciso destas variáveis, que influenciam a qualidade da espuma, permitindo adaptar esta solução a uma maior variedade de situações.

Com este tipo de sistema conseguir-se-ia uma redução nos custos energéticos associados à utilização do sistema, uma vez que, para lá da redução no consumo energético, a eficiência de uma bomba que debite água a pressões na ordem dos 5bar será muito superior à eficiência de uma bomba que debite água a 25bar. Mesmo utilizando duas bombas, uma para a água e a outra para o produto, o consumo energético será muito inferior ao de um sistema como o originalmente descrito, em que ocorrem perdas de carga elevadas.

Em contrapartida, esta seria uma opção que não permitiria que o gerador de espuma conseguisse pressão suficiente para efetuar um bom enxaguamento, uma vez que para tal seria necessária uma pressão de saída da água superior a 20bar, pressão usual utilizada para este tipo de operação com estes equipamentos de limpeza. Com esta solução seriam necessários dois equipamentos para a limpeza e desinfeção: o gerador de espuma e o equipamento para o enxaguamento.

Assim, passou-se a considerar apenas a solução inicialmente preconizada, apesar de ser energeticamente menos atrativa.

3.6. Desenvolvimento do sistema doseador de Venturi

O componente essencial de um gerador de espuma é o dispositivo doseador de Venturi, onde ocorre a aspiração do produto de limpeza e a sua mistura com água e ar. Sendo um componente muito específico para este tipo de sistemas, e que opera geralmente sob condições internas bastante severas, existe muito pouca informação relativa ao seu dimensionamento e comportamento quando sujeito a variações nas condições de trabalho. Assim, partindo de um conceito inicial de base, será necessário criar protótipos de forma a testar e avaliar o seu desempenho. De referir ainda que se trata de um dos componentes mais delicados e mais caros dos sistemas de geração de espuma disponíveis no mercado.

Foi projetado um sistema de Venturi semelhante ao encontrado nas máquinas de gerar espuma existentes no mercado, essencialmente através da recolha de informação constante de patentes, já do domínio público. Nesses dispositivos, através de uma grande redução da secção de passagem da água consegue-se um abaixamento significativo da pressão, abaixo da pressão atmosférica, capaz de efetuar a sucção e mistura do produto

de limpeza com a água, sendo-lhe posteriormente adicionando ar comprimido para a formação de espuma com a qualidade requerida. Através da análise da geometria das patentes apresentadas no Capítulo 2 é identificada a geometria típica de um Venturi para este tipo de aplicação. Todas as geometrias internas dos documentos consultados se assemelham, apenas diferindo em algumas dimensões, o que leva a concluir que o doseador de Venturi necessário será semelhante em geometria a esses, podendo, no entanto, requerer alguma alterações de modo a ser aplicado ao caso específico em análise.

A Figura 15 representa a secção inicial do componente projetado para testar o Venturi. Através de uma redução e secção, vai ser aspirado o produto de limpeza, devido ao efeito de Venturi, entrando no corpo do componente através de um orifício existente ligeiramente a jusante do estreitamento, na zona onde existe já um aumento da secção do tubo. O ar comprimido é adicionado à mistura água + produto a jusante, de modo a favorecer a formação de uma espuma mais consistente. Optou-se por esta geometria pois é a geometria típica de um Venturi usado para doseamento e mistura neste tipo de aplicações. O sistema preconizado, tendo uma geometria simples permite uma fácil construção, tendo a possibilidade de se poderem facilmente produzir componentes semelhantes a preços reduzidos caso os resultados obtidos após testes sejam satisfatórios. Optou-se também por uma construção comum, apenas variando a geometria do estreitamento do doseador de Venturi, tal como ilustrado pela peça mais interior na Figura 15.

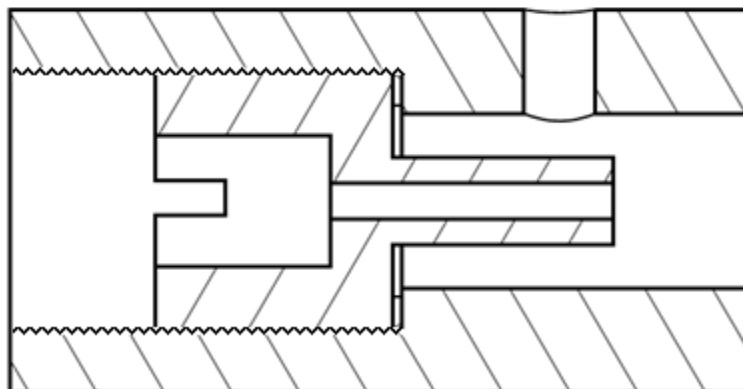


Figura 15- Representação em corte da secção onde ocorre a redução de secção e aspiração do produto de limpeza no protótipo do sistema de Venturi.

Para reduzir o número de tentativas na produção dos protótipos a construir, foi previamente calculada qual a redução de secção necessária para a obter a redução de pressão necessária para a construção deste componente do gerador de espuma.

Utilizando as Equações (3.1) e (3.2), é possível conhecer uma redução de secção aproximada da necessária no doseador de Venturi para conseguir um abaixamento de pressão suficientemente para aspirar produto de limpeza ($P_{saída} < P_{atmosférica}$). Combinando as Equações (3.1) e (3.2) obtemos:

$$P_{Saída} = P_{entrada} - \frac{1}{2}\rho v^2 \left[1 - \left(\frac{A_{menor}}{A_{maior}} \right)^2 \right] \quad (3.4)$$

Para obter a redução de pressão pretendida, o diâmetro da seção estreita no tubo de Venturi terá de ser bastante inferior à seção de entrada, o que leva a que a razão de áreas seja muito pequena. Podemos assim utilizar o resultado aproximado dado pela equação:

$$P_{Saída} = P_{entrada} - \frac{1}{2}\rho v^2 \quad (3.5)$$

Será possível obter uma estimativa da redução de área necessária para obter os valores de pressão de saída requeridos. Para tal serão impostos valores de caudal, pressão da água na entrada e assumido o diâmetro menor no tubo de Venturi.

Após consultados os catálogos técnicos de alguns sistemas geradores de espuma, conclui-se que em geral a pressão de entrada de água no doseador de Venturi é de cerca de 20bar e o caudal de água para a geração de espuma é de cerca de 10L/min. Considerando a água a uma temperatura ambiente de 20°C, teremos uma densidade próxima de 1000 kg/m³.

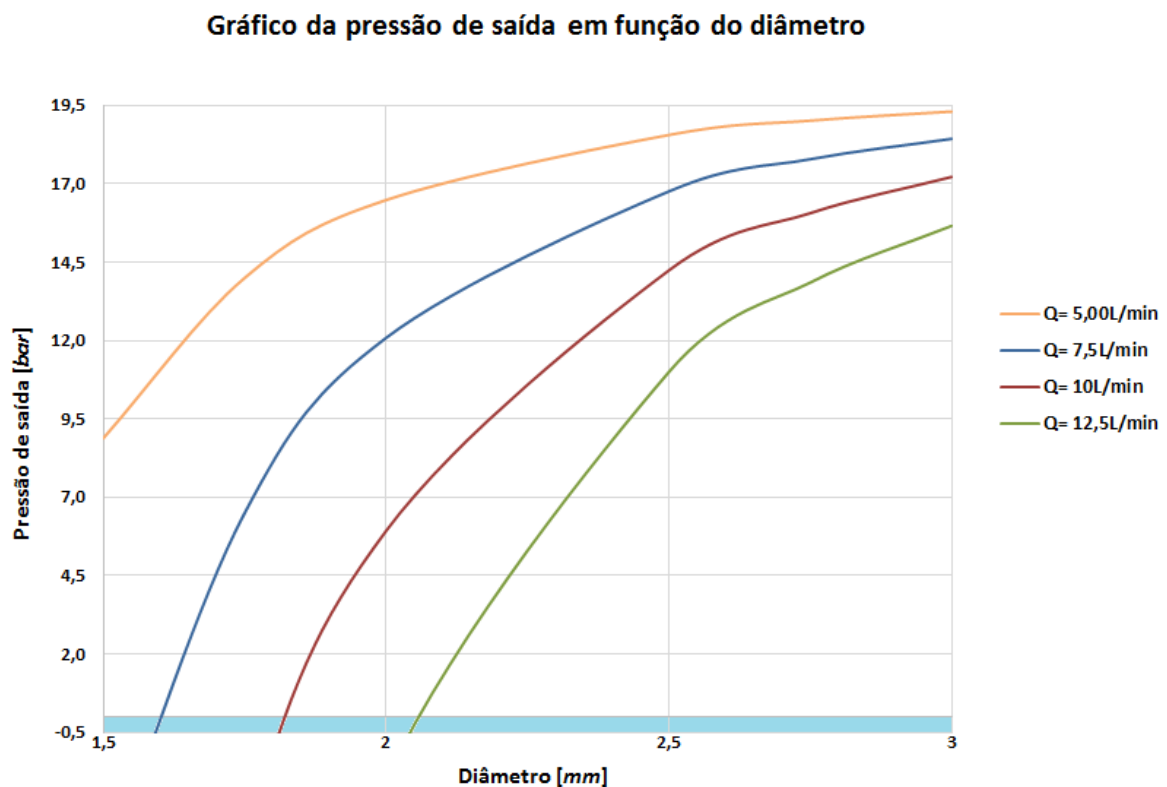


Figura 16- Gráfico da pressão de saída da água num tubo de Venturi em função do seu diâmetro menor, com uma pressão de entrada de 20bar.

Foram utilizados vários valores de caudal de água e vários valores para o diâmetro menor no doseador de Venturi, para conseguir uma visão mais geral de como este se comporta com a variação destes parâmetros. O objetivo é alcançar pressões abaixo da pressão atmosférica, para promover a sucção do produto de limpeza, pelo que na Figura 16 esta região estará representada no eixo das ordenadas entre os valores -0,5 e 0 bar (região sombreada a azul claro). Pela Figura 16 é possível verificar que quanto maior o caudal maior poderá ser o diâmetro da secção menor no doseador de Venturi; no entanto, o valor do diâmetro ideal para a redução de pressão pretendida estará entre os 1,5 e os 2,5mm. Com os dados obtidos é possível conhecer a ordem de grandeza do diâmetro da secção menor do doseador de Venturi; no entanto, os valores obtidos foram para a geometria usual de um tubo de Venturi e para uma redução de pressão de tal modo que, na zona onde o diâmetro é menor, esta fosse inferior á pressão atmosférica. A geometria de um doseador de Venturi será diferente da geometria do tubo de Venturi, e as condições em que este irá trabalhar bastante severas, pelo que se torna necessário uma diferente abordagem para confirmar ou melhorar a estimativa de redução de área necessária e assim confirmar os diâmetros que poderão ser utilizados na secção mais estreita do doseador de Venturi.

Através da análise da geometria da Figura 15 é calculada a redução de secção necessária para obter um abaixamento de pressão suficiente para que ocorra aspiração do produto de limpeza. O cálculo da redução de secção necessária no doseador de Venturi de modo a obter a correspondente queda de pressão para se poder proceder à injeção do ar comprimido é obtida através da seguinte expressão:

$$\Delta P = h_L + h_{l\text{ contração}} + h_{l\text{ expansão}} \quad (3.6)$$

Temos então que

$$\Delta P = \frac{1}{2} f \frac{L}{D} \rho v^2 + \frac{1}{2} k_{\text{contração}} \rho v^2 + \frac{1}{2} k_{\text{expansão}} \rho v^2 \quad (3.7)$$

em que

- f é o fator de atrito
- L é o comprimento da secção mais estreita do Venturi
- D é o diâmetro da secção mais estreita do Venturi
- k é o coeficiente de perda localizada
- v é a velocidade do fluido na secção mais estreita do Venturi
- ρ é a densidade da água

A Tabela 1 apresenta a variação da pressão de entrada da água em função do diâmetro da secção estreita do injetor e do caudal utilizado, em que $P_{\text{entrada}} = f(Q, D)$ quando imposta uma pressão de saída (neste caso de 5 bar). Após passar a secção mais reduzida no doseador de Venturi, a água volta a subir a sua pressão. É assumido que a sua pressão recupera para um valor próximo de 5bar, de modo a que se encontre sempre abaixo da pressão do ar comprimido da rede ($\approx 6\text{bar}$), e ainda seja suficiente para vencer as perdas de carga em tubagens, pistolas e outros acessórios existentes entre o doseador de Venturi e a pistola de aplicação de espuma, que estará à pressão atmosférica na saída da pistola de aplicação.

Tabela 1- Variação da pressão de entrada da água (em bar) em função do diâmetro do bico injetor e do caudal.

		Q [L/min]					
		5	10	15	20	25	30
D [mm]	1,0	78,0	297,0	662,1	1173,1	1830,2	2633,3
	1,5	18,3	58,4	125,1	218,5	338,6	485,4
	2,0	9,0	21,1	41,3	69,5	105,8	150,2
	2,5	6,7	11,4	19,4	30,5	44,9	62,5
	3,0	5,8	8,0	11,7	16,7	23,7	31,9
	3,5	5,4	6,6	8,5	11,3	14,8	19,1
	4,0	5,2	5,9	7,0	8,6	10,6	13,1
	P entrada [bar]						

Na Tabela 1, D corresponde ao diâmetro da secção mais estreita do Venturi e Q corresponde ao caudal de água que nele passa, sendo que estão sombreadas a verde as células com os valores mais aceitáveis tendo em conta o tipo de utilização do equipamento e as gamas de pressão a que este deverá operar. É importante referir que estes valores são meramente estimativas, já que o doseador de Venturi opera em condições bastante severas de pressão e de velocidade, servindo estes valores apenas como uma linha orientadora para a construção deste componente, sendo posteriormente analisados face aos valores reais obtidos da análise experimental realizada segundo algumas condições específicas.

Em relação aos valores da Tabela 1, apenas foram sombreados os que se encontram entre a pressão de 15 e 30 bar, embora valores que se encontrem relativamente próximos também tenham sido sombreados. É nesta gama de pressões que irá ser testado o doseador de Venturi a prototipar.

Analisando os valores obtidos pela Figura 16 e pela Tabela 1, será construído um protótipo de um doseador de Venturi à semelhança da geometria do desenho da Figura 15, em que o diâmetro mais estreito do Venturi deverá variar entre 1,5 e 2,5mm.

3.7. Desenvolvimento de estrangulador de caudal de produto de limpeza aspirado

O controlo do caudal de produto de limpeza e desinfetante a aspirar é uma função importante para um gerador de espuma. A concentração de produto de limpeza e desinfetante a utilizar quando se efetua a limpeza e higienização são importantes para poder adaptar este equipamento a diferentes tipos de aplicações, e assim satisfazer os requisitos de uma gama muito ampla de clientes.

Para tal foi efetuada uma pesquisa no mercado, de forma a encontrar um regulador/estrangulador de caudal que tivesse as seguintes características:

- Ser possível cobrir todas as possibilidades de regulação de caudal, entre o caudal mínimo e o caudal máximo, em menos de uma volta completa do seu volante de comando
- Ser resistente à corrosão por ação de líquidos agressivos
- Ter uma geometria interior específica para caudais baixos

Embora tenham sido encontrados alguns estranguladores de caudal possíveis de utilizar neste projeto, nenhum deles cumpria todos os requisitos acima descritos. Foi então decidido projetar, construir e testar um estrangulador de caudal que se adequasse ao caso em estudo.

Tendo em conta que o produto de limpeza tem uma base forte como o seu principal agente corrosivo, e que este componente estará em contacto com o produto numa concentração elevada, é necessário escolher cuidadosamente os materiais utilizados na construção do estrangulador de caudal.

Uma vez que este componente não estará sujeito a pressões elevadas, a opção mais correta será a construção deste componente utilizando um polímero, possuindo uma boa resistência à corrosão por ação de bases fortes. Os polímeros em causa são relativamente fáceis de maquinar e têm um custo consideravelmente inferior ao do aço inox. O material escolhido foi o PTFE (Teflon), pois é um material recorrentemente utilizado para a construção de componentes sujeitos a produtos básicos, como o hidróxido de sódio, presente no produto de limpeza a que este componente vai estar sujeito. Os vedantes serão em silicone para não sofrerem uma ação de corrosão muito acentuado devido à natureza agressiva dos produtos a que estarão expostos.

Após a análise do funcionamento de alguns estranguladores de caudal, as válvulas de agulha foram as que demonstraram um melhor desempenho e simplicidade de

construção, sendo que o estrangulador de caudal projetado terá algumas semelhanças com este tipo de válvulas.

A Figura 17 é uma representação esquemática da solução proposta. Pretende-se obter um estrangulador de caudal em que através da rotação de um parafuso se vai restringindo a passagem. Pretende-se que com uma volta do parafuso se consiga abrir ou fechar totalmente a passagem de caudal, o que permitirá criar facilmente uma escala de regulação. O utilizador poderá escolher o valor do caudal que necessita apenas ajustando o parafuso. Todos os desenhos técnicos em relação a este protótipo poderão ser consultados no Anexo 1.

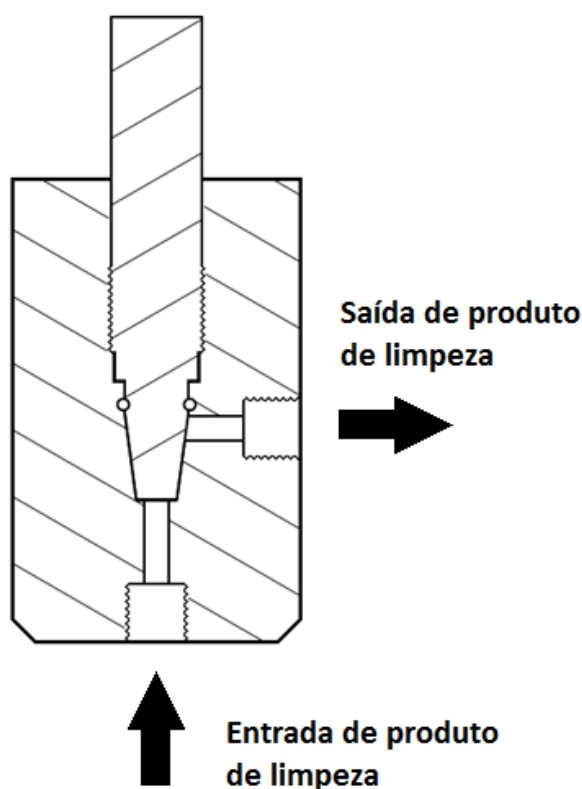


Figura 17- Representação esquemática do protótipo do estrangulador de caudal para produto de limpeza e desinfetante

Inicialmente foi projetada a peça interior do estrangulador de caudal criando uma inclinação no topo do mesmo. Foi decidido que esta ponta da peça interior teria um comprimento de 15mm com forma cônica e uma inclinação acentuada, conseguindo assim alguma precisão no controlo do caudal de produto de limpeza/desinfetante. O passo de rosca escolhido inicialmente foi de 1,3mm, sendo passível de ser alterado após

teste caso este não fosse o ideal. Foi também colocado um vedante para permitir a estanquicidade do estrangulador de caudal.

Após a construção da peça interior foi construída a peça exterior. Foram maquinadas nesta peça as ligações para os acoplamentos com as tubagens de ligação ao doseador de Venturi e ao boião do produto de limpeza.

4. Teste e validação das soluções

4.1. Testes ao sistema doseador de Venturi

4.1.1. Testes

Depois de construído o protótipo do componente em causa, com uma base comum e a possibilidade de mudar a geometria do estreitamento, foram realizados testes variando a pressão de entrada de água, a pressão de entrada do ar comprimido e o diâmetro do furo interno do estreitamento. Para este componente recorreu-se a protótipos feitos em aço comum que, não sendo o material ideal, não sofre uma corrosão muito elevada e em termos de custos é bastante acessível; no entanto, uma peça final terá de ser construída num metal resistente à corrosão.

O caudal é uma variável importante para a análise deste componente e para o desempenho do sistema, sendo o seu valor ditado pela geometria interna do doseador de Venturi e pela pressão de entrada da água, tomando a pressão de saída como um valor especificado, sendo por isso considerado um dos *outputs* e não um variável passível de ser controlada com rigor como, por exemplo, a pressão de entrada da água.

Para realizar os testes foram acopladas ao doseador de Venturi as entradas necessárias para a ligação à rede de água pressurizada disponível e à rede de ar comprimido. Como se pode verificar na Figura 18 foi necessário colocar uma ligação “T” no topo da peça de forma a o ar comprimido ser introduzido no fluxo de mistura de água e produto de limpeza. A adição desta ligação deve-se ao facto de testes preliminares realizados, em que foram testadas algumas outras formas de introdução do ar comprimido, terem conduzido à solução apresentada como aquela que fornece os resultados mais satisfatórios.

Foi utilizado um tubo de diâmetro interno de 4,25 mm para fazer a aspiração do produto de limpeza. Caso seja necessário, este diâmetro pode ser alterado; aumentando este diâmetro podem-se obter caudais de produto aspirado mais elevados.

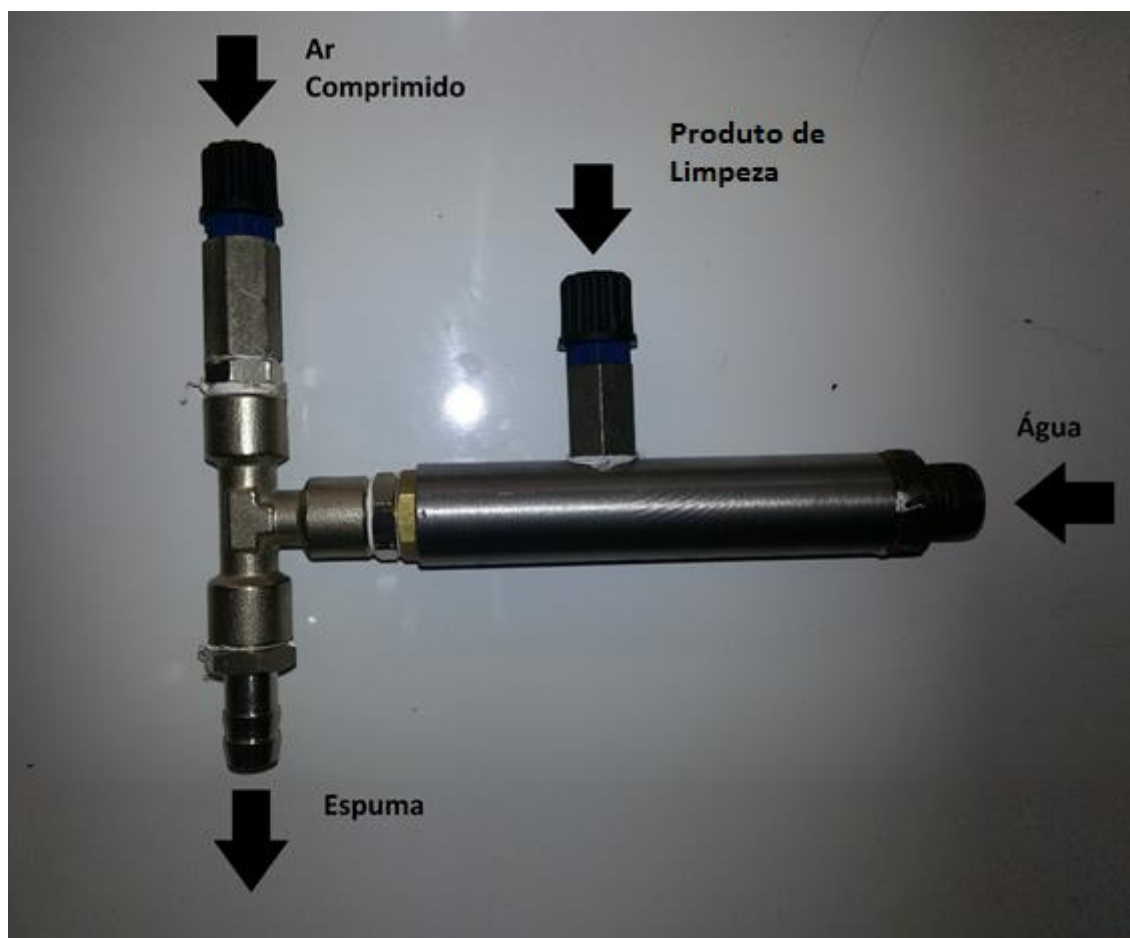


Figura 18- Protótipo de doseador de Venturi gerador de espuma para teste.

Os testes foram realizados utilizando a rede de ar comprimido e a rede de água pressurizada das instalações disponibilizadas, sendo utilizada também uma bomba com redutor de pressão na saída para possibilitar a regulação da pressão de entrada pretendida. Foi criada uma tabela para registar os resultados obtidos de forma organizada e coerente.

O objetivo destes testes é, para uma dada geometria do estreitamento do doseador, conhecer os valores do caudal de água, do caudal máximo de produto de limpeza aspirado e analisar a qualidade da espuma criada controlando a pressão de entrada da água e do ar comprimido.

4.1.2. Resultados:

Data do ensaio: 14/02/2013

Local do ensaio: Instalações da Mistolin

Tabela 2- Diâmetro do furo interior do estreitamento: 2 [mm].

Água		Produto Limpeza	P _{ar} [bar]	Qualidade da Espuma [1-5]
P [bar]	Q [L/min]	Q [L/min]		
20	7,32	0,35	1,65	4
25	8,11	0,26	1,20	2
35	9,09	(1)		

(1)- Pressão de entrada de ar demasiado baixa e espuma de má qualidade.

Data do ensaio: 14/02/2013

Local do ensaio: Instalações da Mistolin

Tabela 3- Diâmetro do furo interior do estreitamento: 3 [mm]

Água		Produto Limpeza	P _{ar} [bar]	Qualidade da Espuma [1-5]
P [bar]	Q [L/min]	Q [L/min]		
35	13,64	(2)		

(2) – Pressão de entrada de ar demasiado baixa

Data do ensaio: 16/02/2013

Local de ensaio: Instalações da Mistolin

Tabela 4- Diâmetro do furo interior do estreitamento: 2 [mm].

Água		Produto Limpeza	P _{ar} [bar]	Qualidade da Espuma [1-5]
P [bar]	Q [L/min]	Q [L/min]		
21	17,14	(3)		

(3) – Não aspira produto de limpeza.

Data do ensaio: 16/02/2013

Local de ensaio: Instalações da Mistolin

Tabela 5- Diâmetro do furo interior do estreitamento: 3 [mm]

Água		Produto Limpeza	P _{ar} [bar]	Qualidade da Espuma [1-5]
P [bar]	Q [L/min]	Q [L/min]		
21	19,36	(3)		

A bomba de água utilizada para os testes preliminares debita caudais na ordem dos 15L/min, permitindo variações da pressão de entrada da água. Com um furo interior do estreitamento de 2mm foi verificado que com caudais de água baixos e pressões elevadas consegue-se espuma relativamente boa, bem como uma boa aspiração do produto de limpeza, debitando um caudal de espuma razoável para as aplicações que são requeridas para este equipamento. No caso do furo do estreitamento de 3mm os resultados obtidos foram maus, não se conseguindo obter formação de espuma.

Utilizando uma rede de água pressurizada numa outra instalação facilitada para testes, testou-se o componente com uma bomba de água que permitia apenas trabalhar com uma pressão de 21 bar na saída. Os resultados obtidos não foram satisfatórios pois o produto de limpeza não foi aspirado, independentemente do diâmetro do furo do estreitamento. Tal deve-se ao facto de, a partir do momento em que o tubo de aplicação de espuma fica cheio de mistura de água e produto de limpeza, a pressão de jusante faz-se sentir na zona onde a pressão deveria ser menor, logo a seguir ao estreitamento no doseador de Venturi, não permitindo a entrada do produto de limpeza.

Concluiu-se com estes testes que este componente deveria ser redesenhado, modificando a sua geometria interior, de forma a impedir que este efeito da pressão de jusante não permitisse a aspiração do produto de limpeza.

4.2. Testes completos, incluindo avaliação da qualidade da espuma formada

Devido aos resultados menos satisfatórios com o componente projetado anteriormente, foi revista a sua geometria interior de modo a conseguir ultrapassar os problemas que o doseador de Venturi anterior mostrou ter.

Para tal foi sugerido criar uma pequena câmara interior a seguir à zona onde se reduz drasticamente a secção de passagem do doseador de Venturi, de modo a impedir que o efeito da pressão de jusante impeça a aspiração do produto de limpeza. Foi também projetado um componente com dimensões menores, de modo a promover uma economia no material utilizado, sem comprometer o seu desempenho.

A Figura 19 apresenta o doseador de Venturi onde a secção é reduzida, bem como o local onde ocorre a aspiração e mistura do produto de limpeza. Pode verificar-se também a modificação imposta em relação ao primeiro doseador projetado. Todos os desenhos técnicos relativos a este protótipo poderão ser consultados no Anexo 1.

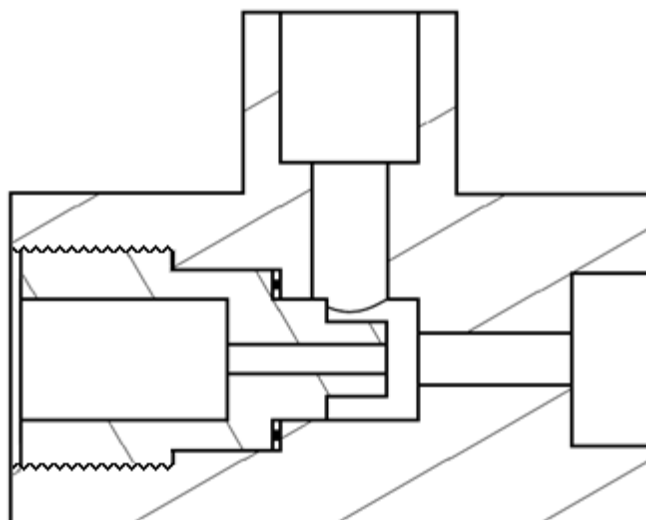


Figura 19- Representação em corte da secção onde ocorre a redução de secção e aspiração no protótipo do sistema de Venturi revisto.

4.2.1. Testes

À semelhança do que foi realizado para testar o primeiro protótipo projetado, foi necessário colocar acoplamentos para ligar o doseador à rede de água pressurizada e de ar comprimido, bem como a utilização de alguns vedantes e ligações para o produto de limpeza. Na ligação de ar comprimido foi, mais uma vez, usada uma ligação em forma de “T”, para que o caudal de ar comprimido não cause obstáculo à saída do caudal da mistura de água e produto de limpeza. O diâmetro do tubo de entrada de produto de limpeza foi aumentado para 8mm em detrimento do tubo inicial de 4,25mm anteriormente utilizado, de forma a conseguir um maior caudal de aspiração de produto de limpeza/desinfetante, pois testes preliminares mostraram que tubos de dimensões menores causariam uma perda de carga elevada no tubo do produto de limpeza, com a consequente redução de caudal de produto aspirado, afetando de forma significativa a qualidade da espuma formada.

Os testes foram realizados de forma semelhante aos anteriormente feitos com o primeiro protótipo, variando a pressão de entrada de água, a pressão do ar comprimido e o diâmetro interior do estreitamento.

A Figura 20 é uma imagem da montagem do doseador de Venturi com que os testes foram realizados. A montagem do doseador de Venturi foi mantida de forma semelhante à montagem do primeiro protótipo criado, de forma a garantir uma boa fiabilidade na comparação de resultados.

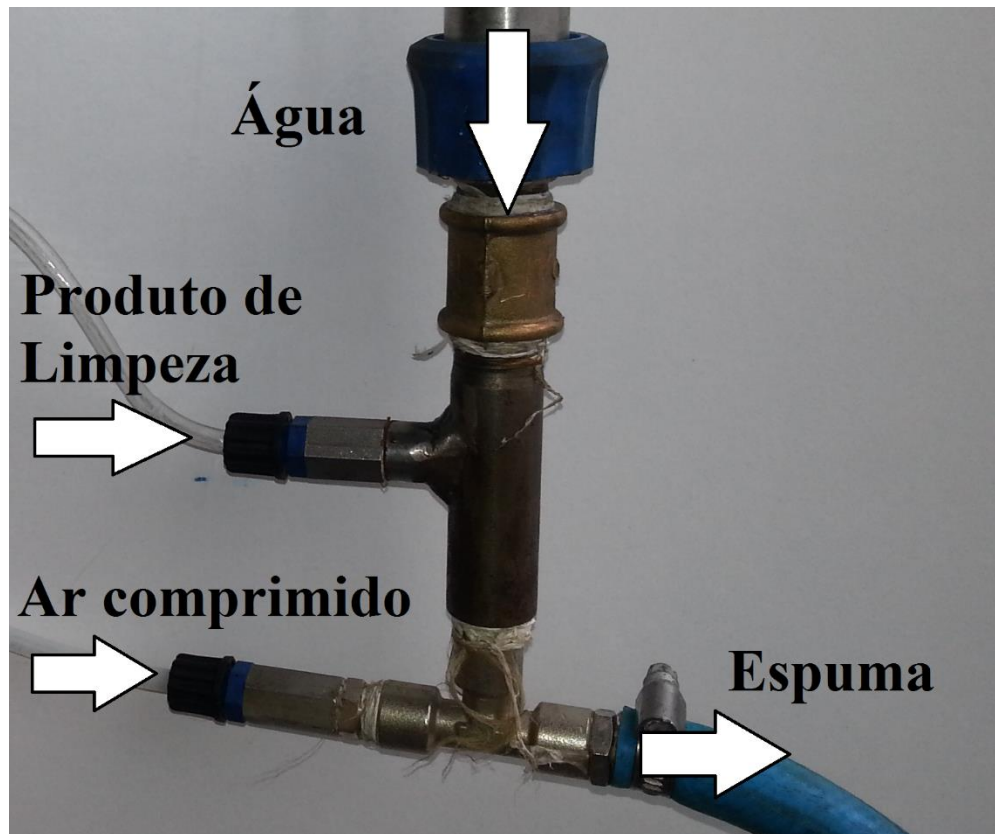


Figura 20- Montagem do protótipo do doseador de Venturi alterado.

4.2.2. Resultados

Data do ensaio: 12/04/2013

Local do ensaio: Instalações da Mistolin

Tabela 6- Diâmetro do furo interior do injetor: 1,5 [mm].

Água		Produto Limpeza	P _{ar} [bar]	Qualidade da Espuma [1-5]
P [bar]	Q [L/min]	Q [L/min]		
15	3,12	0,24	3,0	4
20	3,12	0,54	3,5	5
25	4,50	1,14	3,5	5
30	5,16	1,22	3,5	5

Data do ensaio: 12/04/2013

Local de ensaio: Instalações da Mistolin

Tabela 7- Diâmetro do furo interior do injetor: 2 [mm].

Água		Produto Limpeza	P _{ar} [bar]	Qualidade da Espuma [1-5]
P [bar]	Q [L/min]	Q [L/min]		
15	6,8	0,47	3,5	5
20	7,0	1,08	3,5	5
25	7,2	1,26	3,5	5
30	9,5	1,44	3,5	5

Data do ensaio: 12/04/2013

Local de ensaio: Instalações da Mistolin

Tabela 8- Diâmetro do furo interior do injetor: 2,5 [mm].

Água		Produto Limpeza	P _{ar} [bar]	Qualidade da Espuma [1-5]
P [bar]	Q [L/min]	Q [L/min]		
15	5,76	0,24	2,5	2
20	6,90	0,84	3,5	3
25	9,84	1,54	3,5	2
30	11,6	1,56	3,5	2

Os testes com o protótipo revisto do doseador de Venturi foram realizados recorrendo a uma bomba que debita um caudal máximo de 15 L/min, e com possibilidade de regular a pressão da água à saída da bomba. Variou-se a pressão da água de entrada no sistema em todos os testes, utilizando os valores de pressão de 15, 20, 25 e 30 bar.

Os primeiros testes foram realizados com um furo interior do estreitamento de 1,5mm. A qualidade de espuma obtida foi excelente na gama de pressões 20, 25 e 30 bar, obtendo

no entanto baixos caudais de água devido ao pequeno diâmetro do furo do estreitamento. Embora se consiga obter uma boa qualidade de espuma, esta é debitada em baixa quantidade devido ao caudal baixo de água. O furo interior deverá ter um diâmetro superior para conseguir um caudal de espuma mais elevado.

Quando foi utilizado o furo interior de 2mm para o estreitamento os resultados foram excelentes, conseguindo um caudal de água bastante superior ao obtido com o furo do estreitamento de 1,5mm, boa aspiração de produto de limpeza e uma qualidade de espuma excelente para todas as pressões testadas. Com o diâmetro de furo de 2mm as variações de pressão não afetam significativamente a qualidade da espuma.

Quando o furo do estreitamento utilizado foi o de 2,5mm os resultados não foram os melhores, pois embora o caudal de água tenha aumentado, a qualidade da espuma foi má para a maioria dos valores de pressão testadas, apenas conseguindo uma espuma de qualidade 3 para uma pressão de 20bar. Embora os valores de caudal de produto de limpeza aspirados sejam elevados, o de caudal de água também o é, o que impossibilita a formação de uma boa espuma, causando um grande desperdício tanto de água como de produto de limpeza e obtendo espuma de má qualidade.

Analisando os resultados recolhidos consegue-se mostrar e prever graficamente uma região onde a espuma tem uma qualidade desejável em função dos parâmetros de entrada do gerador de espuma. As Figuras 21, 22 e 23 apresentam os resultados obtidos com os diferentes diâmetros internos no doseador de Venturi.

Apenas são identificadas zonas com espuma de qualidade desejável (igual ou superior a 3), uma vez que a qualidade de espuma que se pretende alcançar é a excelente.

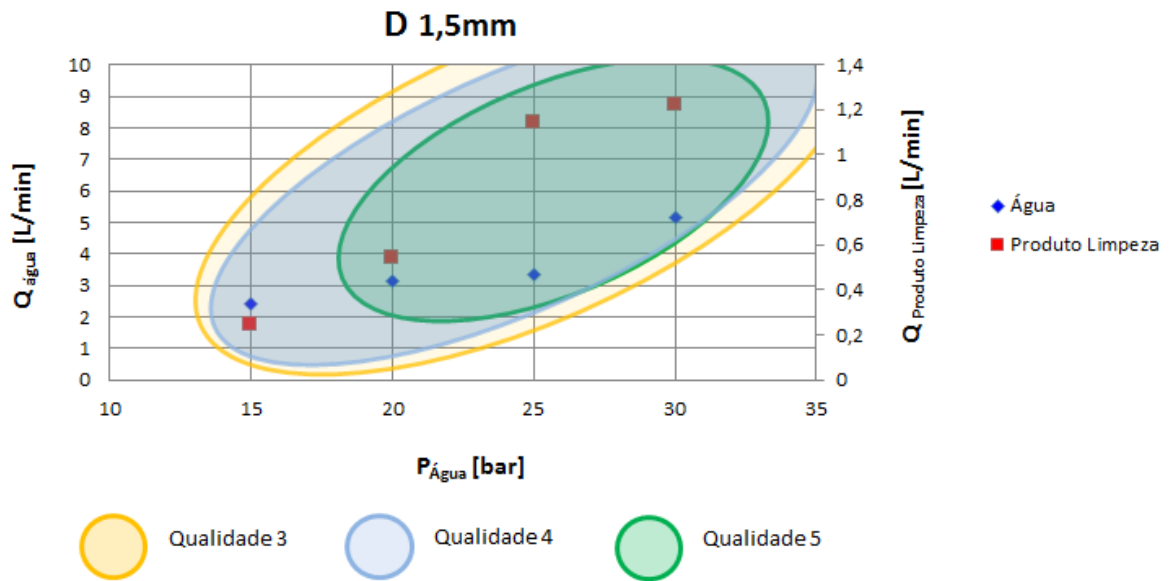


Figura 21- Qualidade da espuma em função do caudal de água a diferentes pressões e caudal máximo de produto de limpeza aspirado com orifício de 1,5mm no doseador de Venturi.

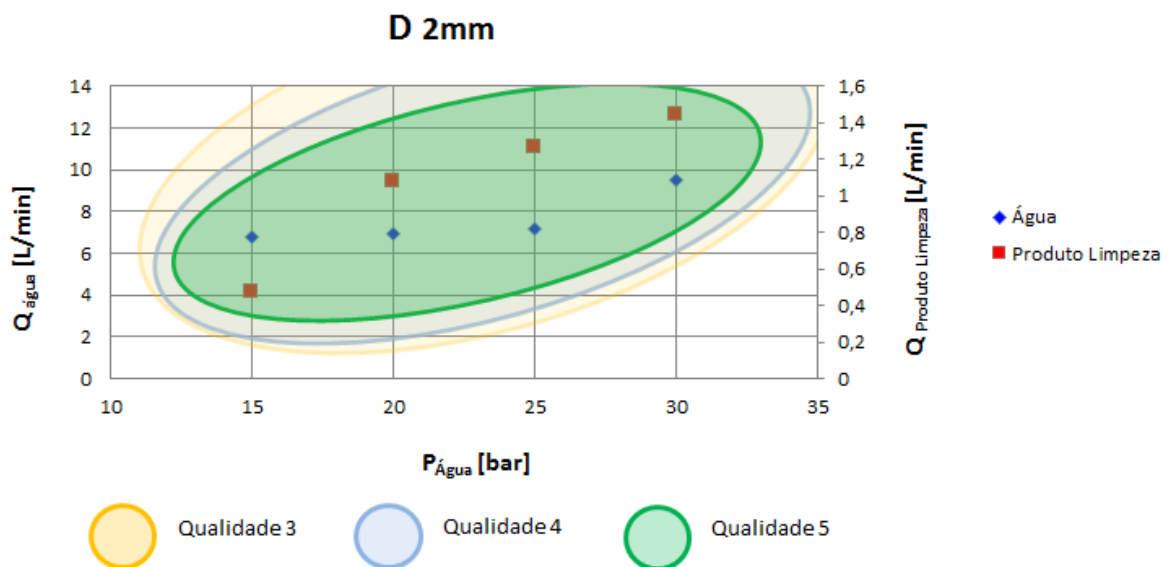


Figura 22- Qualidade da espuma em função do caudal de água a diferentes pressões e caudal máximo de produto de limpeza com orifício de 2,0mm no doseador de Venturi.

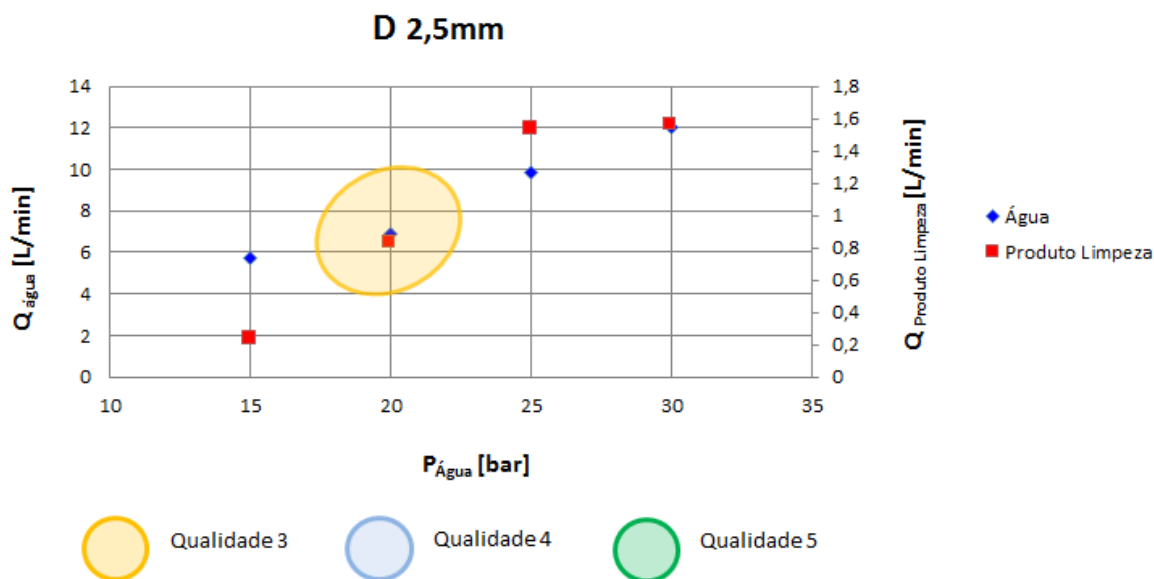


Figura 23- Gráfico da qualidade da espuma em função do caudal de água a diferentes pressões e caudal máximo de produto de limpeza com orifício de 2,5mm no doseador de Venturi.

Após análise das figuras apresentadas, facilmente se verifica que o diâmetro interno ideal para o doseador de Venturi a utilizar no gerador de espuma será de 2mm, uma vez que mesmo com algumas variações na pressão de entrada de água e do caudal de água a qualidade da espuma será excelente, conseguindo mesmo manter a qualidade da espuma caso seja necessário alterar algum dos set-points do gerador de espuma. A utilização deste diâmetro de furo no doseador de Venturi permite também o uso de uma bomba que atinja menores pressões, reduzindo assim os custos inerentes a este equipamento, bem como o custo de aquisição da bomba.

4.3. Testes ao estrangulador de caudal do produto de limpeza e desinfetante

Foi construído um protótipo para o estrangulador de caudal do produto de limpeza, sendo posteriormente realizados os testes para verificar o seu funcionamento e quais as alterações a efetuar, caso sejam necessárias.

Na Figura 24 pode ser vista a montagem do sistema, para testar o estrangulador de caudal do produto de limpeza.



Figura 24- Montagem do sistema utilizado para testar o estrangulador de caudal do produto de limpeza.

A Figura 25 é uma imagem do protótipo do estrangulador de caudal de produto de limpeza/desinfetante criado para realizar testes e verificar o seu funcionamento. O estrangulador final irá possuir uma escala onde poderá ser regulado o caudal pretendido com boa precisão.

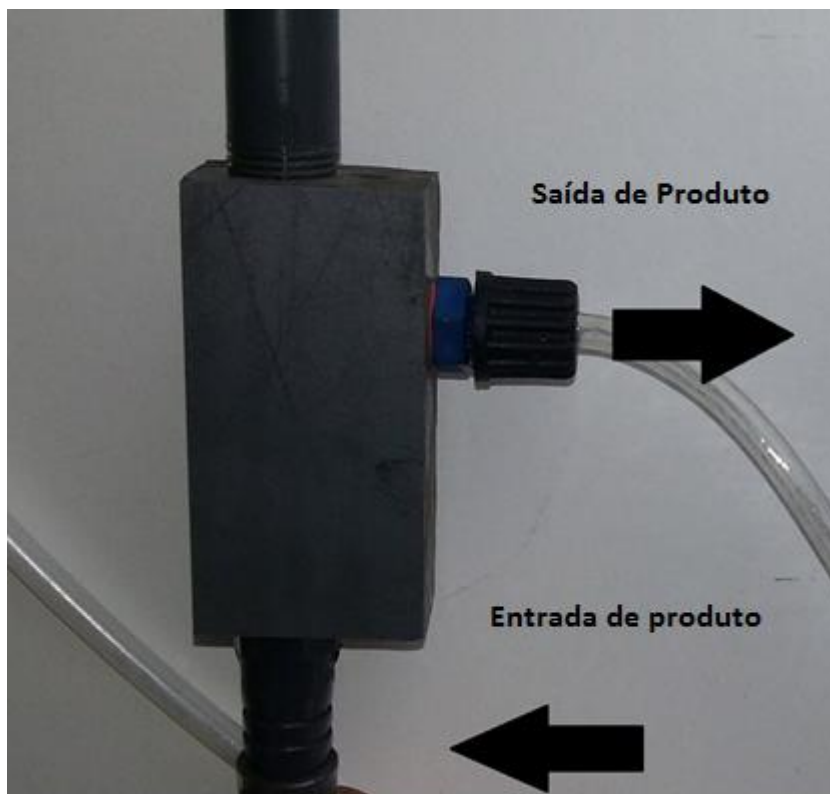


Figura 25- Imagem do estrangulador de produto de limpeza/desinfetante.

Os testes foram realizados utilizando o doseador de Venturi com um furo interior de 2mm, sendo este o diâmetro que melhores resultados proporciona, testado com uma pressão da água na entrada de 15, 20, 25 e 30 bar. A quantidade de voltas que o parafuso interior do estrangulador de caudal efetua é contado desde que este está completamente fechado, sendo efetuada a medição de 1/4 em 1/4 de volta, uma vez que devido à geometria e ao passo de rosca do estrangulador é possível conseguir alguma precisão.

Os testes foram realizados utilizando água como produto aspirado. A água é utilizada para calibrar este tipo de equipamentos, conseguindo usar os valores obtidos nos testes para outros líquidos conhecendo a sua viscosidade e a temperatura de operação. Foi efetuada a medição da temperatura da água, sendo obtido o valor de 23°C. É importante referir que a viscosidade dos produtos de limpeza usados para a geração de espuma tem um valor próximo dos valores de viscosidade da água, pelo que uma nova calibração com um produto de limpeza não será muito diferente da calibração efetuada com a água.

O ar comprimido será deixado ligado durante a realização das medições, pois caso seja desligado afetará as medições, levando os resultados a não serem fiáveis. A pressão de ar comprimido a que se conseguiu gerar espuma de boa qualidade foi de 3,5bar, pelo que será mantida essa pressão do ar comprimido durante todas as medições efetuadas.

Antes de realizar os testes com água foi verificado o número exato de voltas do manípulo do estrangulador de caudal com as quais era possível obter espuma de boa qualidade utilizando produto de limpeza. Foi verificado que o valor máximo de voltas para obter uma boa qualidade de espuma, independentemente da pressão de entrada de água, era de cerca de 1,5 voltas desde a posição em que o estrangulador está completamente fechado.

Em relação ao mínimo de voltas do parafuso do estrangulador necessário para obter uma espuma de qualidade mínima, nunca aconteceu antes de meia volta, pelo que apenas foram registados valores após rodar o parafuso regulador do estrangulador de caudal meia volta.

Embora a solução encontrada para o estrangulamento do produto de limpeza não seja a inicialmente defendida, após os testes concluiu-se que com uma rotação de 1,5 voltas no parafuso do estrangulador a precisão é maior, e que é a suficiente para abranger as qualidades de espuma requeridas do sistema gerador de espuma.

Foram então realizadas medições de 1/4 em 1/4 de volta, desde a meia volta até 1,5 voltas, abrangendo assim os caudais desde que a qualidade da espuma é mínima até uma boa qualidade de espuma.

Tabela 9- Resultados dos testes realizados ao estrangulador de caudal do produto de limpeza.

Pressão água [bar]	Número de voltas	Pressão ar [bar]	Caudal de produto [L/min]
15	0,50	3,5	0,42
	0,75	3,5	0,63
	1,00	3,5	0,78
	1,25	3,5	0,90
	1,50	3,5	1,20
20	0,50	3,5	0,57
	0,75	3,5	0,72
	1,00	3,5	0,90
	1,25	3,5	1,08
	1,50	3,5	1,23
25	0,50	3,5	0,54
	0,75	3,5	0,69
	1,00	3,5	0,84
	1,25	3,5	1,08
	1,50	3,5	1,29
30	0,50	3,5	0,57
	0,75	3,5	0,72
	1,00	3,5	0,90
	1,25	3,5	1,14
	1,50	3,5	1,32

Os resultados obtidos foram satisfatórios, pois embora não seja possível regular completamente o caudal de produto de limpeza numa volta, em 1,5 voltas tal já será possível. É possível criar uma escala graduada para o estrangulador em causa, usando uma escala adaptada aos valores obtidos; no entanto, uma vez que este é um protótipo poderá ser alterado, voltando a testar os novos valores de caudal e criando uma escala mais simples com apenas uma volta ou menos.

Utilizando uma escala como a apresentada na Figura 26 será possível regular o caudal necessário de produto de limpeza; consultando uma tabela semelhante à tabela acima, será fácil e rápido conhecer a quantidade de produto de limpeza que será consumido e efetuar, caso seja necessário, um ajuste na pressão de entrada de água no gerador de espuma.

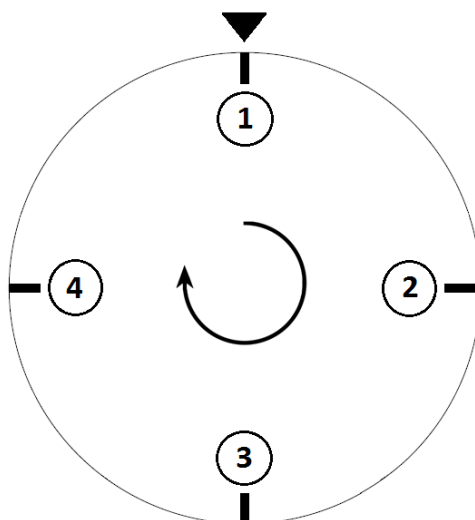


Figura 26- Exemplo de possível escala para regulador de caudal de produto de limpeza.

Se a cada número da escala for associado um valor de caudal de produto tabelado, poderá ser criada uma tabela ou um gráfico e colocado no manual técnico do gerador de espuma, permitindo ao operador, através de uma consulta rápida, conhecer os caudais que serão possíveis de obter com o estrangulador de caudal.

4.4 Avaliação do caudal de ar comprimido requerido

De forma a ter conhecimento de todas as variáveis de entrada do gerador de espuma é necessário conhecer o consumo de ar comprimido. Podemos assim conseguir uma estimativa da quantidade de ar comprimido necessária para produzir espuma com a qualidade requerida, permitindo um controlo do custo de operação deste equipamento em termos de ar comprimido.

A medição do caudal de ar comprimido consumido é importante para poder avaliar o desempenho energético e os consumos do gerador de espuma. Para tal é necessário recorrer a um acumulador de ar comprimido, onde o ar é deixado a repousar algumas horas de forma a diminuir a sua temperatura até à temperatura ambiente. Considerando o ar como um Gás Ideal podemos aplicar a equação dos gases ideais e assim obter o caudal de ar que é consumido pelo gerador de espuma, quando alimentado de ar comprimido a partir do acumulador de ar comprimido, se a sua temperatura for conhecida. A equação que permite este cálculo é a seguinte [16]:

$$PV = mRT \quad (4.1)$$

onde P é a pressão do ar no acumulador, V é o volume do acumulador, m é a massa de ar dentro do acumulador em cada instante, R é a constante particular do ar e T é a temperatura absoluta do ar, tomada como igual à temperatura atmosférica. Rearranjando a equação em função da massa de ar existente no acumulador obtém-se:

$$m = \left(\frac{V}{RT} \right) P \quad (4.2)$$

Para obter o caudal mássico de ar basta derivar a expressão anterior em ordem ao tempo, obtendo a expressão que nos dá o valor do caudal mássico de ar comprimido que o gerador de espuma consome:

$$\frac{dm}{dt} = \left(\frac{V}{RT} \right) \frac{dP}{dt} \quad (4.3)$$

O acumulador de ar comprimido utilizado poderá ser o que geralmente vem junto com compressores móveis usuais na indústria. O seu volume terá de ser conhecido e deverá ser igual ou superior a 50L, pois com um volume menor será difícil avaliar corretamente o débito de ar comprimido em causa.

Para conseguir obter valores fiáveis no caudal de ar comprimido consumido foi estabelecido um procedimento para a sua medição. Inicialmente seria ajustado o gerador

de espuma para criar uma espuma de boa qualidade, sendo posteriormente visualizado o tempo que corresponde ao decréscimo de pressão de 1bar no acumulador de ar comprimido. Como verificado nos testes do doseador de Venturi, a pressão de ar comprimido que gera espuma de qualidade é de 3,5 bar, sendo essa a pressão de saída do ar utilizada no redutor de pressão de ar comprimido à entrada do doseador de Venturi para avaliação do caudal de ar comprimido necessário.

O acumulador de ar comprimido depois de cheio com ar comprimido é deixado em repouso para arrefecer e alcançar a temperatura ambiente. A temperatura ambiente é então medida quando forem realizados os testes.

De modo a conseguir um valor fiável de caudal de ar comprimido foi utilizado um acumulador com cerca de 220 litros de capacidade, que permite uma medição mais precisa uma vez que para descer a pressão do ar comprimido necessitará de algum tempo dado o relativamente grande volume que tem.

Atendendo aos resultados obtidos nos testes realizados ao doseador de Venturi, foi apenas utilizado o furo de 2mm no estreitamento, pois outros furos não satisfazem de forma tão completa os objetivos deste projeto.

A Tabela 10 contém os valores obtidos das medições efetuadas para a avaliação do consumo de ar comprimido. Para realizar os cálculos e obter o caudal de ar comprimido em litros por minuto foi considerada a temperatura de 24°C e uma densidade do ar de 1,18 kg/m³ (representativos das condições ambiente).

Tabela 10- Medições de caudal de ar comprimido.

Pressão da água [bar]	ΔP [bar]	Pressão de saída do ar [bar]	Caudal ar [L/min]
15	1	3,5	162,7
20	1	3,5	151,2
25	1	3,5	133,9
30	1	3,5	116,8

A Figura 27 apresenta os valores de caudal de ar comprimido obtidos em função da pressão de entrada da água.

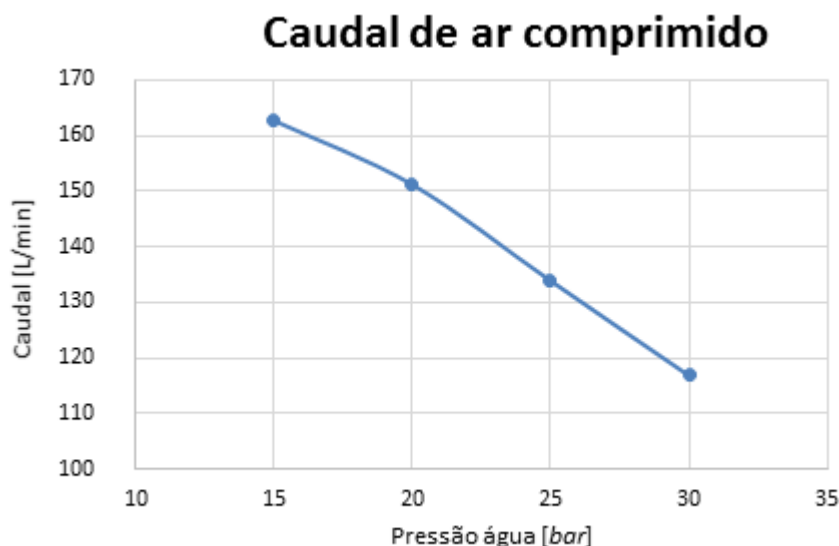


Figura 27- Caudal de ar comprimido em função da pressão de entrada da água

Como verificado na Tabela 10, a pressão de entrada da água no gerador de espuma tem influência no consumo de ar comprimido pelo equipamento, sendo que quando é aumentada a pressão de entrada da água o caudal de ar comprimido consumido é menor. Isto deve-se ao facto de o caudal da água estar diretamente relacionado com a pressão a que esta entra. Ao existir um maior caudal de água nas tubagens de aplicação de espuma, esta irá provocar maior resistência à saída do ar, diminuindo assim o consumo de ar comprimido.

A medição do caudal de ar comprimido consumido foi realizada durante os testes ao protótipo do sistema, para permitir assim avaliar esse consumo. O sistema final, para ser usado na prática, não precisa de dispor do equipamento necessário para a medição do consumo de ar comprimido, podendo a sua estimativa ser feita a partir dos resultados anteriores obtidos com o ensaio do protótipo.

5. Componentes do sistema e montagem

5.1. Sistema com bomba e sistema sem bomba

Uma vez conseguidos resultados positivos com o doseador e o com o estrangulador de caudal de produto de limpeza/desinfetante, é possível começar a seleccionar os componentes existentes no mercado mais adequados para o sistema gerador de espuma. A Figura 28 representa esquematicamente o sistema, onde se podem verificar as possibilidades de montagem pelas quais se pode optar, sendo elas a utilização de uma bomba para o satélite ou a utilização de uma rede de água pressurizada já existente.

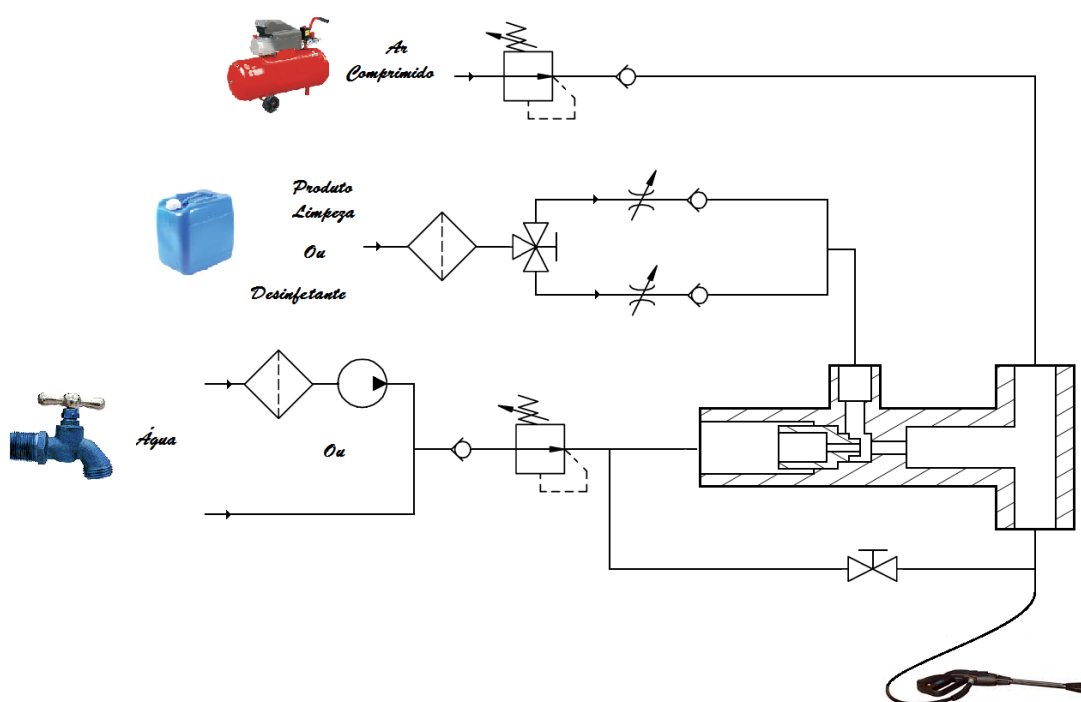


Figura 28- Esquema do sistema gerador de espuma.

Como mostra a Figura 28, a utilização da bomba no sistema implica a adição de um filtro a montante da bomba. Caso já exista um sistema de água pressurizada a sua bomba já terá filtro de forma a evitar que algumas impurezas presentes na água possam danificá-la, não necessitando assim o gerador de espuma de filtro. Será utilizado um outro filtro que impedirá as impurezas que possam vir do boião de produto de limpeza/desinfetante de entrar no doseador de Venturi. No entanto, este filtro poderá ser substituído por uma ponteira de fundo, em forma de bisel, colocada na ponta inferior da tubagem que está no boião do produto de limpeza/desinfetante.

Será necessário um redutor de pressão para a água e outro para o ar comprimido, de forma a conseguir regular a pressão de entrada de cada um deles e não danificar o sistema caso ocorram alterações bruscas de pressão ou algum descontrolo accidental da pressão.

De forma a conseguir efetuar o enxaguamento será utilizada uma válvula de esfera que estará numa saída de água antes do doseador de Venturi. Uma vez que esta esteja fechada todo o fluxo de água irá passar pelo doseador para aspirar produto de limpeza/desinfetante. No caso de esta estar aberta, uma vez que o doseador de Venturi oferece muito mais resistência à passagem de água esta tomará o caminho com menos resistência à sua passagem e irá diretamente para a pistola de aplicação sem passar pelo doseador, para assim ser possível efetuar o enxaguamento. Não ocorrerá aspiração no doseador quando a válvula de esfera estiver aberta, uma vez que o caudal de água que irá passar nele não será suficiente para aspirar produto de limpeza ou desinfetante. Adicionalmente, pode colocar-se o estrangulador de caudal na posição fechada, que terá o mesmo efeito de não aspiração do produto de limpeza.

Para uma rápida comutação entre produto de limpeza e desinfetante será utilizada uma válvula de três vias num material resistente à corrosão, pois nesta zona os produtos serão bastante agressivos uma vez que se encontram ainda numa concentração alta. Serão também utilizados dois estranguladores de caudal, um para o desinfetante e outro para o produto de limpeza, de forma a conseguir um bom doseamento, conseguindo assim ajustar a qualidade da espuma a várias situações possíveis, e o controlo da quantidade de desinfetante a utilizar

Válvulas de retenção capazes de suportar médias pressões e produtos agressivos também serão utilizadas para prevenir o retorno de ar, de água ou de produto, protegendo assim todo o sistema a montante das mesmas das pressões elevadas e dos produtos corrosivos com os quais o gerador de espuma irá trabalhar.

O doseador de Venturi que foi projetado será o componente mais importante deste sistema, pois realizará a aspiração do produto de limpeza/desinfetante e a sua mistura com água, e também é nele que será adicionado o ar comprimido para a formação de

espuma. Quando for necessária a aplicação de desinfetante a entrada de ar comprimido será fechada, servindo o doseador de Venturi apenas para a função de aspiração do desinfetante e sua mistura com a água.

Serão ainda adicionados sistemas de acoplamento rápido tanto para o ar comprimido como para a água, possibilitando assim a fixação do gerador de espuma em diferentes locais sem perda de tempo significativa ou implicando operações complicadas requerendo ferramentas. Também a ligação para o produto de limpeza/desinfetante será uma ligação rápida.

Uma outra opção que pode ser tomada será a vertente móvel ou fixa deste equipamento. O equipamento fixo estará limitado a uma certa área de atuação, sendo apenas possível ser utilizado até ao alcance máximo da conduta ligada à pistola de aplicação de espuma. Terá a vantagem de ter dimensão reduzida comparativamente ao gerador de espuma móvel. Em relação ao gerador de espuma móvel, será obrigatória a sua montagem num sistema que seja fácil de transportar, que terá a possibilidade de transporte de um boião de produto de limpeza e outro de desinfetante. Este terá obrigatoriamente de ser ligado a uma rede de água pressurizada e a uma rede de ar comprimido, sendo o seu alcance apenas limitado pelo tamanho dos umbilicais dos mesmos. As vantagens deste equipamento serão a sua mobilidade, podendo substituir um equipamento fixo em caso de avaria ou ser utilizado em zonas que não justifiquem a aplicação de um gerador de espuma fixo.

Este gerador de espuma móvel será em tudo semelhante ao fixo, com o mesmo sistema base e a mesma caixa envolvente, permitindo assim uma grande versatilidade do ponto de vista de fabrico e montagem, uma vez que, caso seja necessário, um gerador de espuma fixo pode ser montado numa base móvel, ser transportado e utilizado em qualquer zona onde a rede de água pressurizada e de ar comprimido estejam disponíveis.

5.2. Listagem de componentes, incluindo possibilidades concretas de realização

Os componentes que serão utilizados no sistema de geração de espuma e desinfeção foram acima descritos e explicada a importância da sua utilização.

Após alguma pesquisa foram encontrados todos os componentes necessários, incluindo várias alternativas possíveis para cada um deles, existindo várias opções de compra. Não existem diferentes soluções de compra para os componentes que foram concebidos, projetados e testados nos capítulos anteriores.

A Tabela 11 contém uma listagem de alguns dos componentes encontrados no mercado que podem ser utilizados para a construção deste sistema. São apresentadas no mínimo duas soluções para cada componente, exceto no caso do filtro para o produto de limpeza/desinfetante. Os acoplamentos possíveis para cada um dos componentes são também referidos na tabela. Em alguns casos não será possível uma ligação direta entre componentes, pois as suas ligações não coincidem; no entanto, existem disponíveis no mercado adaptadores que permitem essas ligações.

Tabela 11- Listagem de componentes.

Filtros			
	Fornecedor	Modelo	Ligação
Água	Afriso	Water WAF01 without pressure reducer, 100µm	3/4"
	Clarence Water Filters	QMP-WM-Filter Kit, 5µm	3/4"
Ar	Festo	LF-1/8-D-5M-MICRO (H), 5µm	1/8"
	Air Logic	F-970 Series Filters, 5-73 µm	1/8"
Produto Limpeza	Swagelok	SS-4F-40, 40µm	1/4"
Redutor de pressão			
Água	Pentair	LS-2	3/8", 1/2", 3/4"
	Emerson	Type 1301G	1/4"
	Apollo Vales	Series 36H	1/2", 3/4"
Ar	Festo	LR-1/8-D-(MINI)	1/8"
	Parker	Global Modular Regulators P32RA92BNNP	1/4"
Manómetro			
Água	Suku	Type 7781, Bourdon tube pressure gauge with glycerine filling NS100	1/2"
	Rexroch	Manómetro preenchido com glicerina	1/4"
Válvula anti-retorno			
	DFT-Valves	SCV 750 CWP	1/2"
	CheckAll Valve	U1CSSMT.500SS	3/8"

Tabela 11 (Continuação) - Listagem de componentes

Válvulas de fecho			
Duas vias	Maryland Metrics	Stainless Steel Ball Valves 4832 PN40	1/4", 3/8"
	S.D. Industries	High Pressure Ball Valve	1/4"- 1"
Três Vias	Parker	MV-11 1/4" 3-way PTFE valve	1/4"
	Integra	1/2" orifice 3-way PTFE valve	1/2"
	Bürkert	Three-Way Valve	5-7, 7-9, 9-11mm
Bombas			
	Grundfos	CR1 (11,7-40 L/min; Max Pressure: 23,5bar)	1" Flanged internal threads
	Zhejiang Leo	Bomba Centrífuga Multiestágio Vertical LVS1 (10-40 L/min; Max Pressure: 25bar)	1 1/4" Flanged

5.3. Proteções para sistema móvel e fixo

Após criado o sistema de geração de espuma será importante a criação de um invólucro, que permita a proteção dos componentes, tanto do meio onde este vai ser utilizado como de possíveis contactos ou choques exteriores indesejados. Esta proteção deve ser simples, apelativa e económica de produzir.

Tendo em conta estes critérios foi criada uma proteção para o sistema, que terá a versatilidade de poder ser adaptada a um suporte móvel, possibilitando a produção de um só sistema de proteção que será utilizado nas versões móvel e fixa deste sistema gerador de espuma.

A Figura 29 apresenta uma possibilidade de construção para esta caixa envolvente, que protege todo o sistema gerador espuma.



Figura 29- Possibilidade de construção para a caixa de proteção do sistema gerador de espuma.

Em conjunto com um técnico da *Mistolin* foram analisados alguns fatores importantes na construção desta proteção do gerador de espuma. O mais importante foi conseguir uma boa resistência ao choque, pois existe uma elevada probabilidade de ocorrerem choques com o gerador de espuma que podem causar danos e/ou mesmo avarias, impossibilitando o seu uso por um determinado período de tempo. Com uma caixa construída em metal tal risco será reduzido. Um outro problema recorrente é o puxar a

conduta de aplicação de espuma de forma brusca, que pode danificar o sistema na zona onde esta está acoplada, ou mesmo fazer cair o sistema caso se trate do sistema móvel. A sugestão para esta proteção será a construção de uma caixa em aço inox, uma vez que oferece boa resistência á corrosão e consegue conferir alguma rigidez e resistência ao choque e/ou quedas.

Outra questão importante é o local onde os controlos para regular os caudais e pressões do sistema gerador de espuma poderão estar. Existe a possibilidade de os colocar num painel frontal, de modo a conseguir um acesso rápido e fácil. No entanto, tal não permitirá o acesso ao interior da caixa pela zona frontal, o que dificultará tanto a manutenção como a montagem, além de deixar os comandos vulneráveis a colisões externas ou a alterações de set-points por parte de terceiros. A opção mais viável será a construção de uma caixa com uma porta frontal para acesso aos comandos, ficando apenas visíveis os manómetros que indicam a pressão da água e a pressão do ar comprimido com que o gerador está a operar. Deste modo, as alterações de pressão e caudal serão apenas realizadas pelo operador que terá uma chave da caixa de proteção. Deste modo só são efetuadas alterações ao set-point do sistema por pessoas habilitadas para tal. A colocação dos manípulos dos reguladores no interior da proteção também resguardará possíveis choques indesejados com os mesmos.

As dimensões da proteção foram analisadas em função dos componentes encontrados no mercado e apresentados na Tabela 11, sendo suscetíveis de ser alteradas futuramente na situação de serem encontrados outros equipamentos que melhor satisfaçam as necessidades requeridas pelo gerador de espuma. As dimensões da caixa são 355mm de altura, 350mm de largura e 153mm de profundidade. É importante referir que a dimensão menor é a profundidade, pois caso fosse muito superior ao valor referido aumentaria excessivamente o espaço ocupado nesta direção, ficando o sistema vulnerável e a obstar a movimentos e/ou arrumação de outros elementos, pelo que se optou por usar a menor dimensão possível para a profundidade sem comprometer a sua acessibilidade por parte do operador.

As entradas de ar comprimido, água e produto de limpeza/desinfetante serão fixas no exterior da caixa através de conexões/encaixes rápidos.

Poderão ser também colocadas borrachas de proteção em algumas arestas exteriores da caixa, de forma a amortecer e reduzir o risco de possíveis lesões a operadores que, por acidente ou descuido, choquem com ela. Esta medida também possibilita um maior amortecimento no caso de uma queda do sistema (móvel), reduzindo os danos possivelmente causados por este evento.

A caixa de proteção em torno do gerador de espuma deverá ser o mais estanque possível, de modo a evitar a entrada de líquidos e assim a deterioração precoce causado pela

natureza agressiva dos produtos com que o gerador de espuma irá operar; para tal serão colocados vedantes em todos os locais mais suscetíveis, como na zona dos manómetros e em torno da porta. No entanto, a caixa deverá ter um dreno na parte inferior que possibilite o escoamento de algum líquido que entre inadvertidamente no interior da caixa, sem no entanto permitir entrada de algum líquido por esse orifício.

Serão acopladas tanto na caixa de proteção como na parede barras para conseguir, de uma forma rápida, a remoção de todo o sistema, podendo rápida e facilmente ser utilizado em outro local ou acoplado a um suporte móvel.

A Figura 30 apresenta algumas das opções acima mencionadas, as quais estão presentes na solução que foi desenvolvida.



Figura 30- Pormenores da solução criada para a caixa de proteção.

Na Figura 30 é apresentada uma possível solução para a caixa de proteção, com os manómetros na parte superior da porta frontal. Existem vedantes nos furos da porta onde estão os manómetros, para garantir a estanquicidade da caixa de proteção. Podem ainda verificar-se os encaixes rápidos para a água (à esquerda), produto de limpeza/desinfetante (ao centro) e ar comprimido (à direita), além das barras fixadas por detrás da caixa, de modo a poder fixar facilmente a caixa numa parede ou no suporte móvel.

Para o suporte móvel será importante que este consiga ter uma boa estabilidade, seja fácil de manusear e tenha capacidade transportar dois boiões, um de produto de limpeza e outro de desinfetante.

Para conseguir uma correta posição da pega para empurrar o suporte móvel foram analisadas as alturas que são normalmente utilizadas em carros de transporte de bebés e carros de compras normalmente encontrados em supermercados. Foi verificada ainda a distância entre rodas nos eixos traseiro e dianteiro, para ser possível projetar as

dimensões sem erros excessivos. Foi observada uma altura média de cerca de 1m e uma distância entre rodas do eixo traseiro de cerca de 0,5m, sendo esta dimensão variável nas rodas do eixo dianteiro dos carros. Assim sendo, optou-se por dimensões semelhantes, sendo cerca de 1m a altura da pega para empurrar o suporte móvel, a distância entre rodas na zona traseira de cerca de 0,5m e a distância entre as rodas dianteiras de cerca de 0,25m. A largura na zona traseira do carrinho permite o transporte de dois boiões em simultâneo, um de produto de limpeza e outro de desinfetante. As restantes dimensões da solução apresentada podem ser consultadas nos desenhos técnicos do Anexo 1.

A sugestão para o suporte móvel do gerador de espuma está apresentada na Figura 31.



Figura 31- Representação de uma solução para o suporte móvel

Como apresentado na Figura 31, a solução proposta permite que o sistema gerador de espuma esteja encaixado no suporte móvel através de barras, sendo possível retirar

facilmente o sistema de geração de espuma e fixá-lo a uma parede. Também foi salvaguardada alguma distância para fixar a caixa mais no centro do suporte móvel, de modo a impedir que o suporte não caia para trás por ação do peso do sistema gerador de espuma.

A solução apresentada dispõe também de uma tampa na zona inferior, que pode ser produzida num polímero resistente a materiais corrosivos, onde os boiões estarão. Esta tampa será furada para escoamento de líquidos e reduzir a massa de material utilizado para a sua construção e o peso do conjunto. É ainda tida em conta uma zona onde o tubo de aplicação de espuma poderá ser enrolado, de modo a facilitar o seu transporte e arrumação em conjunto com o restante do sistema.

Na Figura 32 estão representadas algumas das sugestões acima referidas para o suporte móvel.



Figura 32- Representação da solução encontrada para o encaixe rápido do sistema gerador de espuma e enrolamento do tubo de aplicação de espuma.

Na zona da pega poderá ainda ser colocado um polímero de modo a conseguir uma melhor aderência das mãos do operador, uma vez que a aderência das mãos a um metal não será a melhor nem a mais confortável.

A solução acima descrita permite o fácil transporte do gerador de espuma, possibilitando um mais amplo acesso do sistema aos locais pretendidos, apenas restrito pela dimensão dos umbilicais de água pressurizada e de ar comprimido. Permite uma grande versatilidade na utilização do gerador de espuma, uma vez que este pode ser convertido rápida e facilmente de uma estação fixa de gerar espuma num sistema móvel de geração de espuma, ou o contrário. Sendo de uma baixa complexidade de construção, a solução apresentada cumpre os objetivos propostos.

6. Conclusões e sugestões

Da pesquisa efetuada pode concluir-se que embora existam no mercado vários modelos de geradores de espuma que operam com médias pressões de água, a informação técnica relativa a estes é muito restrita e geralmente confidencial, e difícil de encontrar e/ou aceder. Este facto obriga a uma intensa pesquisa para conceber e desenvolver um sistema deste tipo.

Das soluções analisadas, a utilização de água a médias pressões é a mais viável para o caso em estudo, uma vez que se pretende que o sistema aplique espuma, desinfetante e efetue enxaguamento. Caso fosse utilizada outra solução que não uma com pressões de água médias seria necessário um equipamento adicional separado, apenas para o enxaguamento.

O componente principal de um gerador de espuma é o doseador de Venturi. A passagem de água a uma elevada velocidade e baixa pressão leva à aspiração de um produto líquido de limpeza, por efeito de Venturi, que misturado com a água que o suga permite a geração de espuma a jusante, quando é introduzido ar comprimido. Para desenvolver este componente foi necessário analisar várias geometrias do doseador de Venturi, de modo a encontrar a que melhor se adaptaria para o caso em estudo. Foi projetado e testado um componente, sendo posteriormente alterada a sua geometria interna de modo a conseguir os resultados pretendidos. Após alcançados os resultados esperados foi possível começar a escolher os restantes componentes.

Uma lacuna encontrada nos geradores de espuma analisados foi o seu controlo sobre o caudal de produto de limpeza utilizado, sendo este geralmente efetuado através da troca de pequenas peças com furos de diferentes diâmetros que se encontram no tubo de aspiração de produto, o que torna a tarefa de regulação complicada e morosa para o operador.

Foi concebido, desenvolvido, construído e testado um estrangulador de caudal do produto de limpeza para regular esse caudal rodando um manípulo que, em uma volta e meia, irá abranger todos os caudais necessários ao bom funcionamento do gerador de espuma, desde o fecho total até à abertura total. Através de uma pequena alteração, é possível que este estrangulador efetue a regulação em apenas uma volta do seu manípulo de acionamento, criando uma escala que permite ao operador um rápido ajuste para o valor do caudal de produto de limpeza pretendido. Tal não foi efetuado devido a algumas dificuldades técnicas do momento, no entanto são deixadas algumas indicações sobre como o fazer.

Todos os componentes selecionados no mercado para o sistema poderão ser alterados caso sejam encontrados outros que melhor se ajustem a este projeto. Deverão ser resistentes a agentes corrosivos, pressões elevadas ou ambos, caso estejam na zona de contacto com produto de limpeza ou água à pressão mais elevada.

Os materiais utilizados deverão ser resistentes a produtos corrosivos, podendo ser utilizados polímeros como o PEHD ou o PTFE para o estrangulador de caudal e aço inoxidável 316L ou 304 para o doseador de Venturi, uma vez que este estará exposto a maiores pressões.

Inicialmente foi pretendida a criação de uma interface que permitiria o controlo automático de todas as variáveis através de uma consola; no entanto, tal não foi possível pois devido à especificidade deste sistema, pressões altas, produtos corrosivos e baixo caudal de produto de limpeza, não foram encontrados os componentes necessários no mercado, ou então foram encontrados com preços muito elevados.

É sugerida uma opção de construção para uma caixa de proteção e para um suporte móvel para o sistema. Utilizando um único gerador de espuma é possível ter uma versão móvel e uma fixa, permitindo operar em diferentes locais apenas com um único sistema.

Embora não tenha sido possível construir o gerador de espuma final com todos os componentes propostos, foi possível verificar que, utilizando os componentes projetados e disponibilizados para os testes, é possível a formação de espuma de muito boa qualidade segundo o técnico da *Mistolin* que acompanhou os ensaios. Tal permite afirmar com elevado grau de certeza que após todo o sistema devidamente montado o resultado será o mesmo, conseguindo uma boa qualidade de espuma, com um bom caudal, ideal para limpeza de superfícies e equipamentos industriais.

Como sugestões futuras para possíveis melhorias no projeto, poderia ser verificada a possibilidade da redução das dimensões e, consequentemente, do preço do doseador de Venturi e do estrangulador de caudal.

Poderia ser testado o uso do estreitamento no doseador de Venturi com furo de 1,5mm de diâmetro para o caso de ser desejável a utilização de caudais menores, criando tabelas no manual do utilizador para a pressão de ar comprimido e o caudal de produto de limpeza que permitiriam um rápido ajuste dos set-points para essas condições de operação.

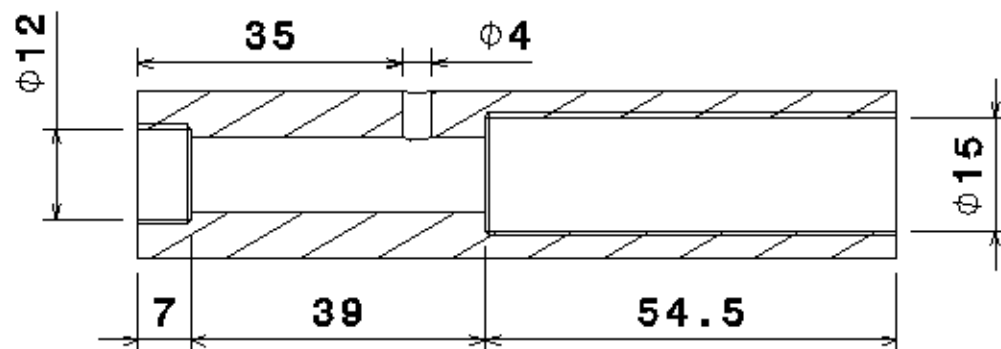
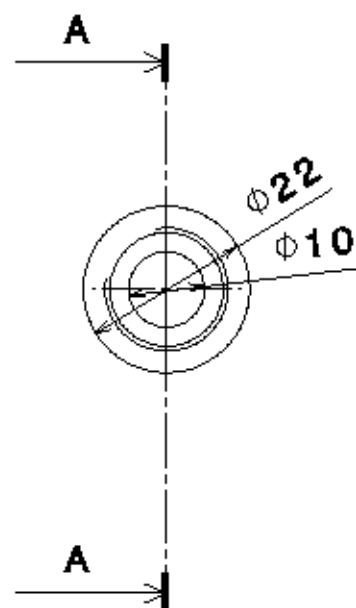
Em termos energéticos, poderia ser analisada uma solução que permitisse uma redução da pressão de entrada da água sem prejudicar a qualidade de espuma, conseguindo assim uma diminuição nos custos de funcionamento do sistema. Tal possibilitaria o uso de outros componentes, que não necessitassem de suportar pressões tão elevadas,

diminuindo o seu custo e facilitando a sua obtenção, pois existe uma maior diversidade de componentes no mercado que operam a pressões mais baixas. O mesmo poderia ser realizado para o ar comprimido.

Bibliografia

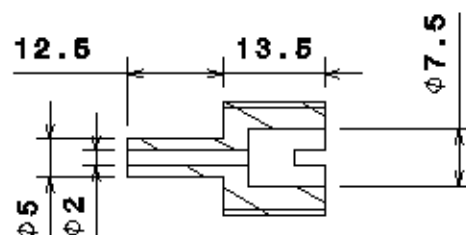
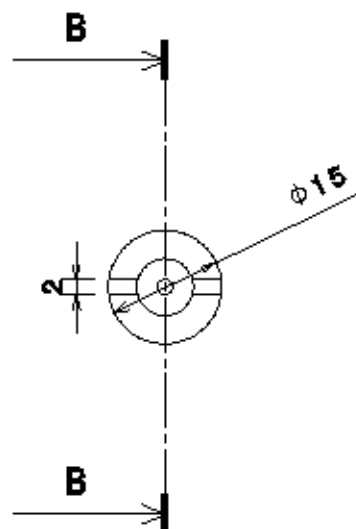
- [1] www.laffertyequipment.com/foamers.php visitado a 11/12/2012
- [2] <http://www.holchemwhce.co.uk/sks02379---mimas-pf-rinse--foam-satellite-763-p.asp> visitado a 11/12/2012
- [3] <http://www.laffertyequipment.com/products/wallmount/index.php> visitado a 11/12/2012
- [4] www.plasticalfa.com/download/filtri/Filters%20and%20Fertirrigation_2012_VENTURI.pdf visitado a 6/1/2013
- [5] www.northvalekorting.co.uk/prod-fluidjet.asp (adaptado de) visitado a 6/1/2013
- [6] United States Patent Office, Apparatus for discharging three commingled fluids, David C. Huffman, Patent number 4505431, 19 de Março de 1985. Disponível em: <http://www.google.co.in/patents/US4505431>. Visitado a 4/1/2013.
- [7] United States Patent Office, Device at washing and rinsing apparatuses for producing a foam, Manne Carlzon, Patent number 5060866, 29 de Outubro de 1991. Disponível em: <http://www.google.com/patents/US5060866>. Visitado a 4/1/2013.
- [8] United States Patent Office, Foam Generator, Franklin M. McDougall, Patent number 3430865, 4 de Março de 1969. Disponível em: www.archpatent.com/patents/3430865. Visitado a 4/1/2013.
- [9] Borrego, C. Fenómenos de Transferência, Universidade de Aveiro, 1996.
- [10] en.wikipedia.org/wiki/Venturi_effect visitado a 04/12/2012.
- [11] <http://en.suku.de/produkte/type-7781-bourdon-tube-pressure-gauge-with-glycerine-filling-ns100-connection-bottom> visitado a 15/1/2013
- [12] www.festo.com/cat/nl-be_be/data/doc_engb/PDF/EN/D-REGULATORS_EN.PDF visitado a 8/2/12
- [13] www.pumprite.com/chemre.pdf visitado a 17/6/13
- [14] www.demaeng.com/food-beverage/spray-foam-dispensing-systems/294-compressed-air-foamers/ Visitado a 6/6/13
- [15] www.fmipump.com/rhb-literature.html visitado a 6/6/13
- [16] Apontamentos de Termodinâmica Macroscópica. Pio, C. A., 1988

Anexo 1- Desenhos técnicos



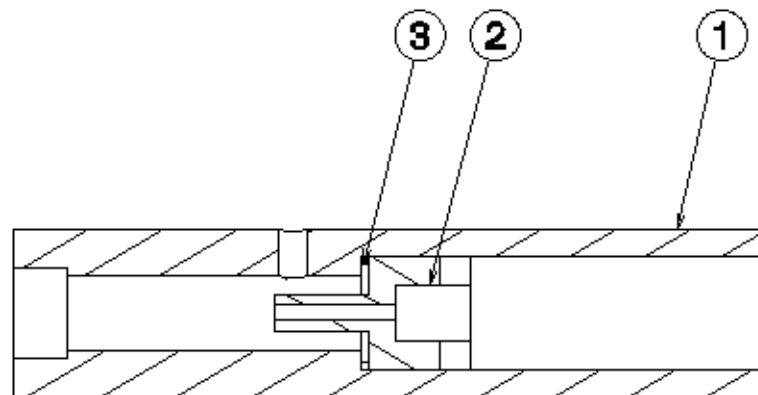
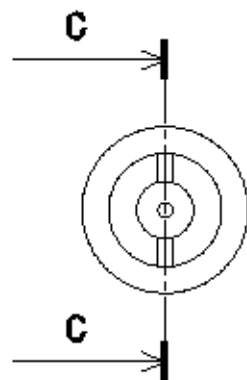
Corte A-A

DESIGNED BY: Tiago Ramos	Departamento de Engenharia Mecânica	I	-	
DATE: 27-07-2013		H	-	
CHECKED BY:	Universidade de Aveiro	G	-	
DATE:		F	-	
SIZE A4	Corpo do doseador de Venturi inicial	E	-	
SCALE 1:1		D	-	
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.		C	-	
		B	-	
		A	-	



Corte B-B

DESIGNED BY: Tiago Ramos	Departamento de Engenharia Mecânica	I	-
DATE: 27-07-2013		H	-
CHECKED BY:		G	-
DATE:		F	-
SIZE A4	Universidade de Aveiro	E	-
SCALE 1:1		D	-
		C	-
		B	-
	A	-	
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.			



Corte C-C

1	O-ring	3
1	Injetor	2
1	Doseador	1
Qty	Designação	Nº

DESIGNED BY: Tiago Ramos
DATE: 27-07-2013
CHECKED BY:
DATE:
SIZE A4
SCALE 1:1

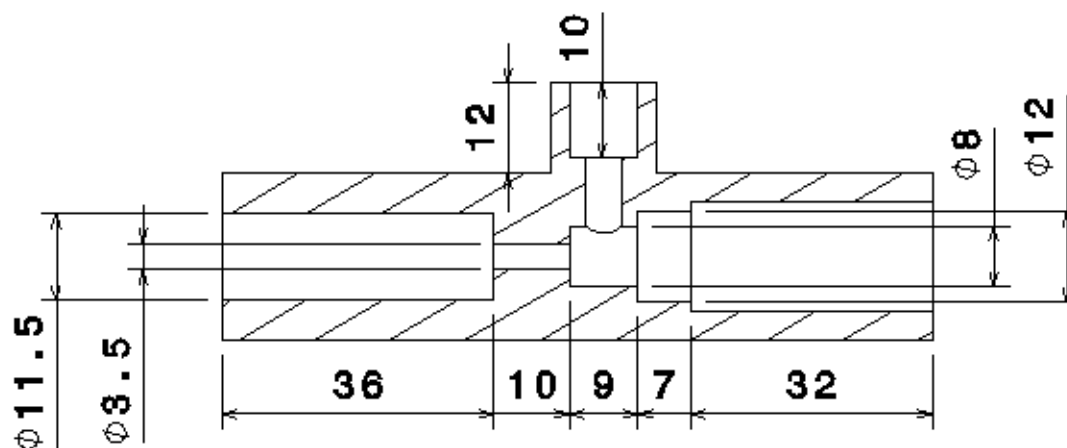
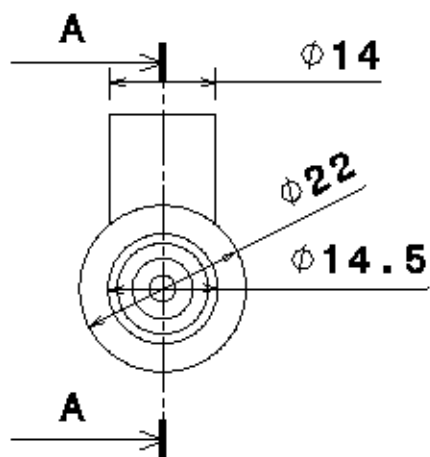
**Departamento de
Engenharia Mecânica**

Universidade de Aveiro

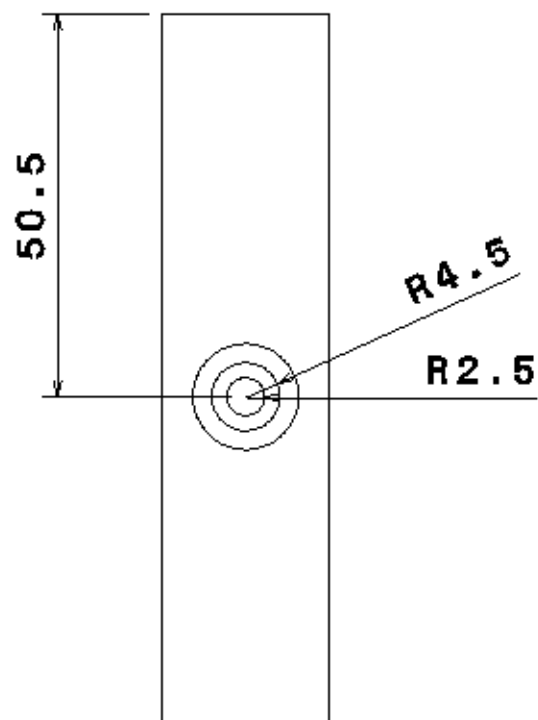
**Desenho de conjunto doseador
inicial**

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-



Corte A-A



DESIGNED BY:
Tiago Ramos

DATE:
31-07-2013

CHECKED BY:

DATE:

SIZE

A4

SCALE

1:1

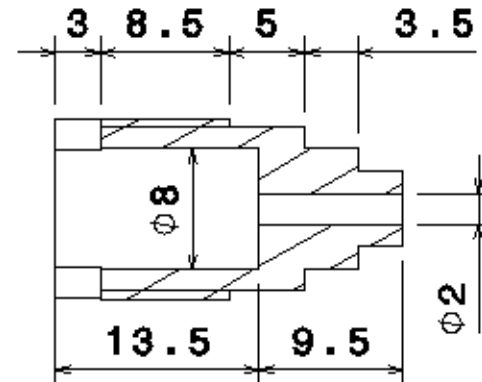
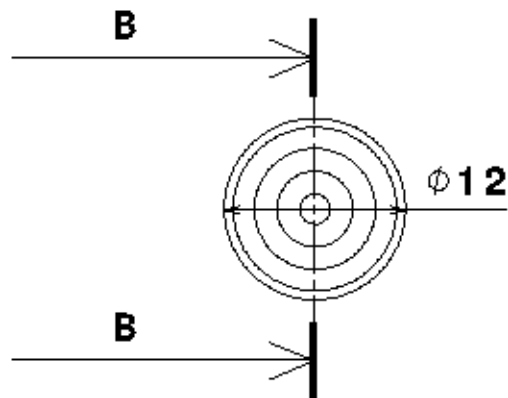
**Departamento de
Engenharia Mecânica**

Universidade de Aveiro

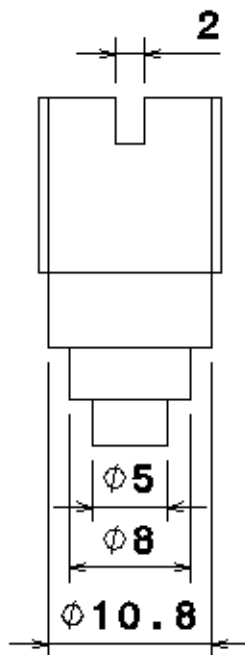
Corpo do doseador final

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

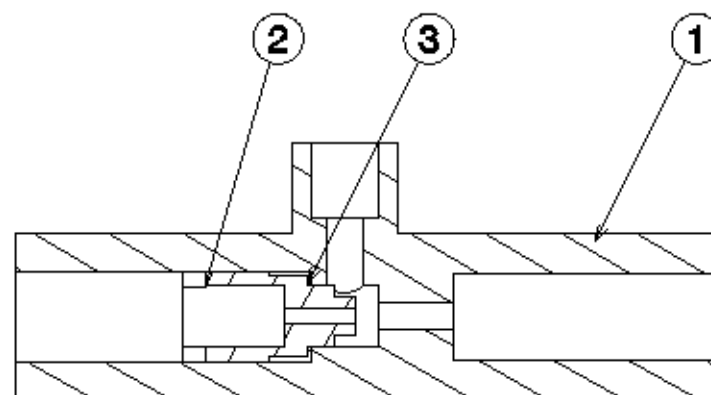
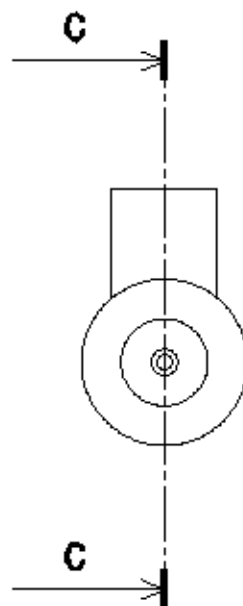
I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-



Corte B-B



DESIGNED BY: Tiago Ramos	Departamento de Engenharia Mecânica	I	-
DATE: 31-07-2013		H	-
CHECKED BY:		G	-
DATE:		F	-
SIZE A4	Universidade de Aveiro	E	-
SCALE 2:1		D	-
		C	-
	B	-	
	Bico injetor doseador final		A
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.			



Corte C-C

1	O-ring	3
1	Bico injetor	2
1	Corpo do doseador	1
Qtd	Designação	Nº

DESIGNED BY:	Tiago Ramos
DATE:	31-07-2013
CHECKED BY:	
DATE:	
SIZE	A4
SCALE	1:1

Departamento de
Engenharia Mecânica

Universidade de Aveiro

Desenho de conjunto doseador
final

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

D

C

B

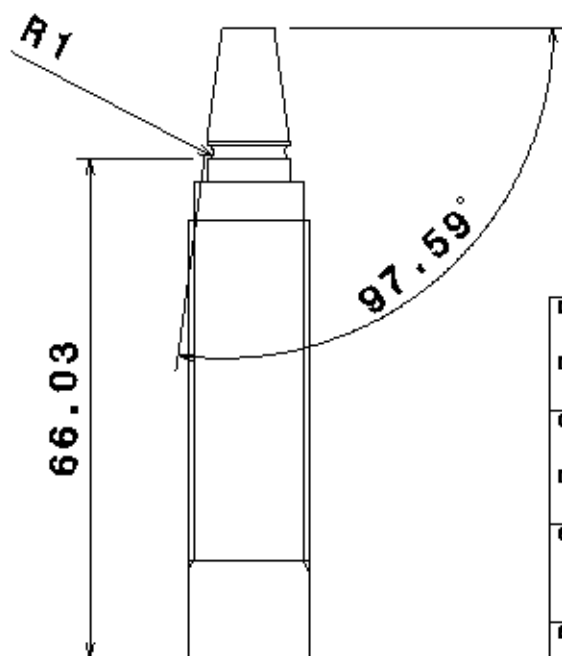
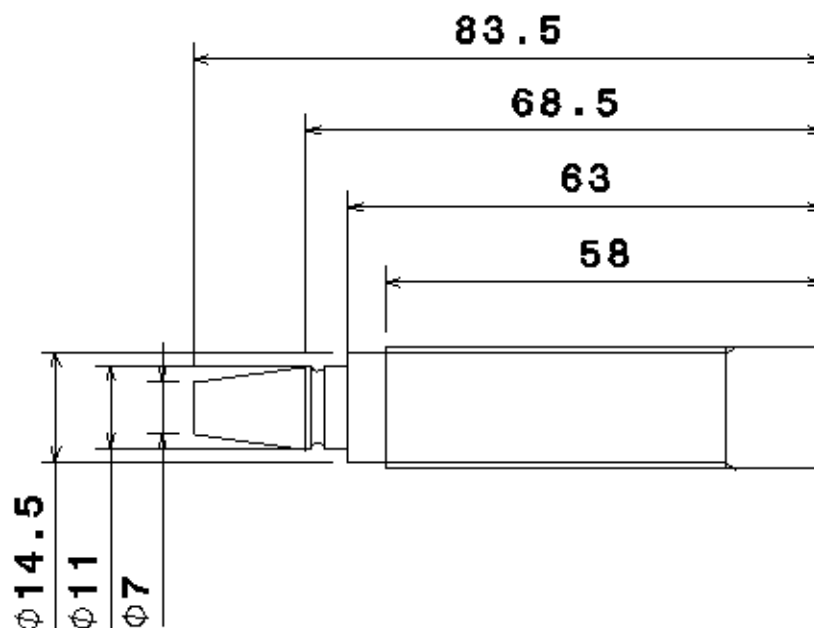
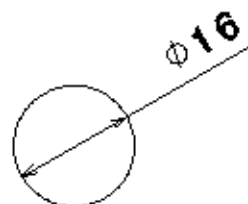
A

4

3

2

1

DESIGNED BY:
Tiago RamosDATE:
30-07-2013

CHECKED BY:

DATE:

SIZE

A4

SCALE

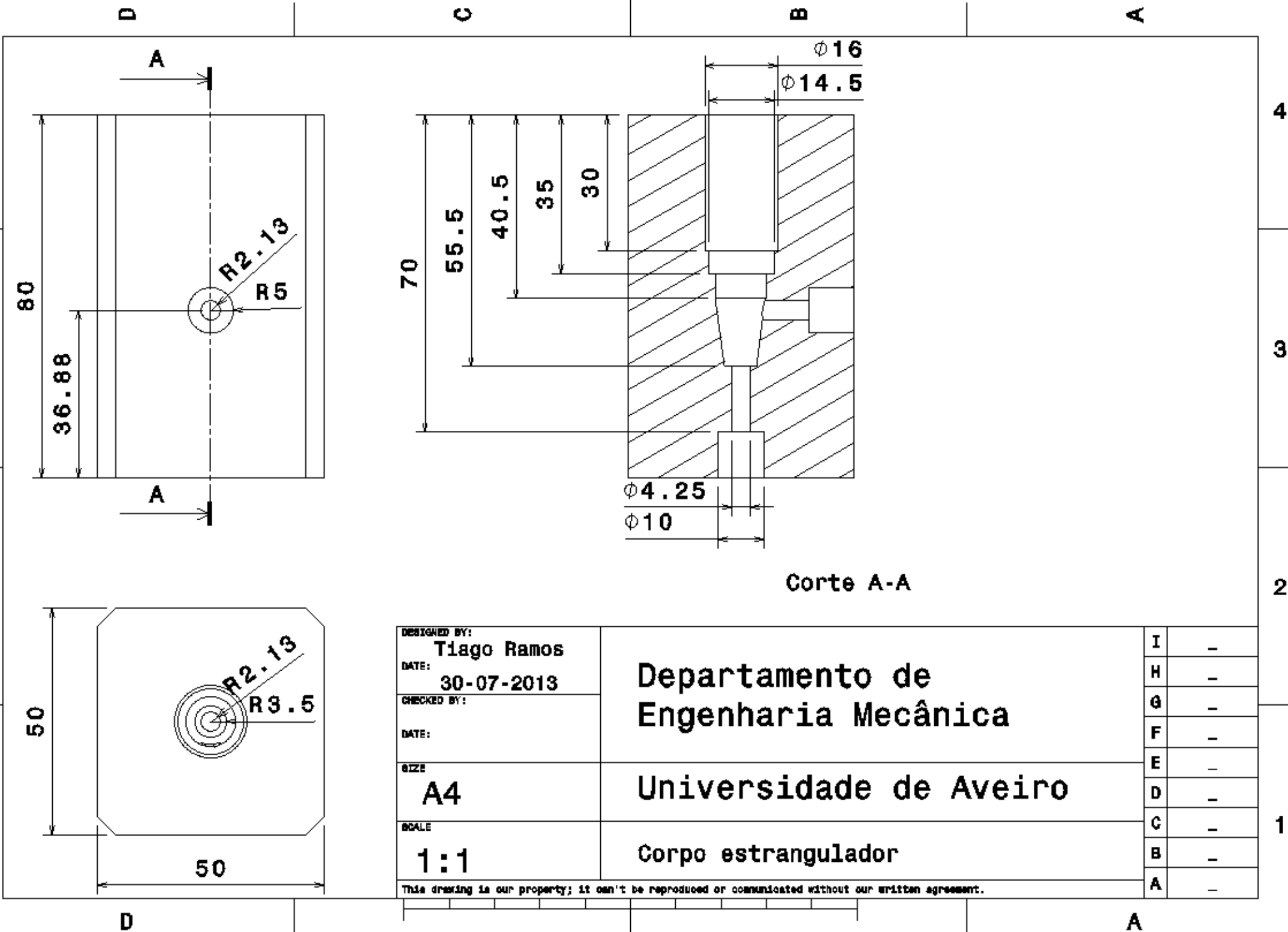
1:1**Departamento de
Engenharia Mecânica****Universidade de Aveiro****Parafuso do estrangulador**

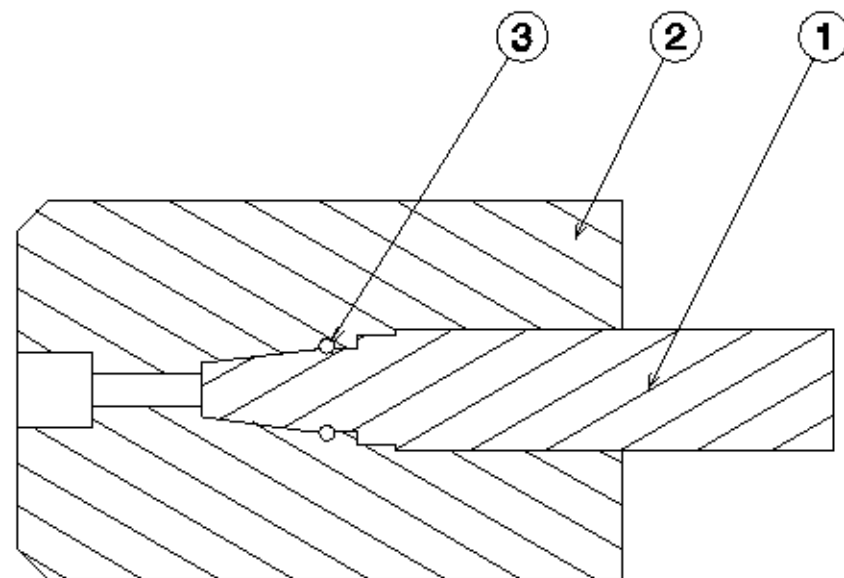
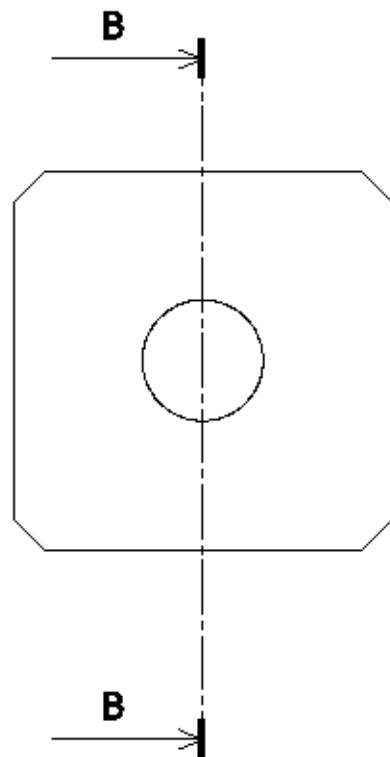
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

D

A

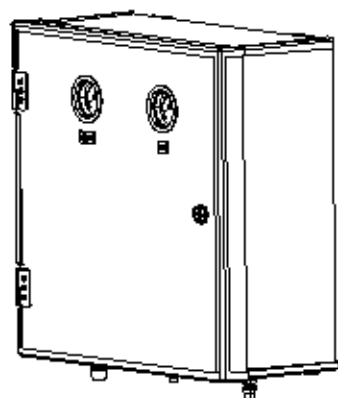
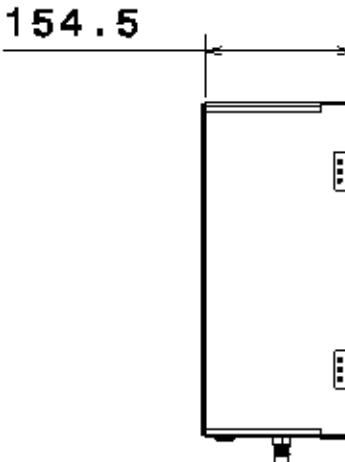
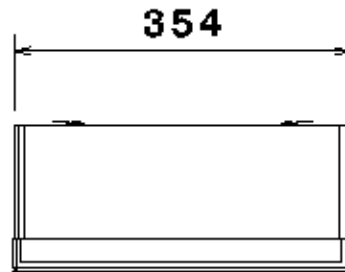
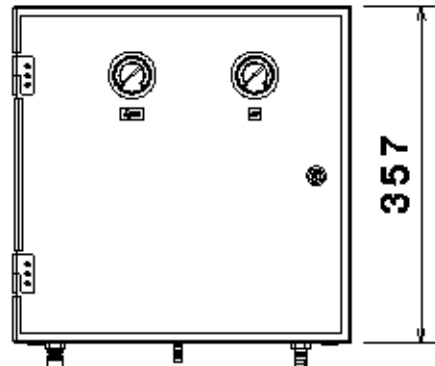
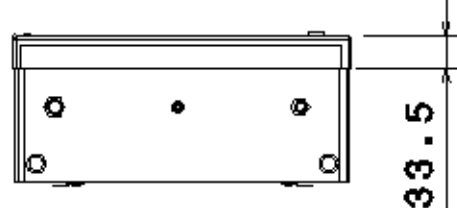




Corte B-B

1	O-ring	3
1	Corpo estrangulador	2
1	Parafuso estrangulador	1
Qtd	Designação	Nº

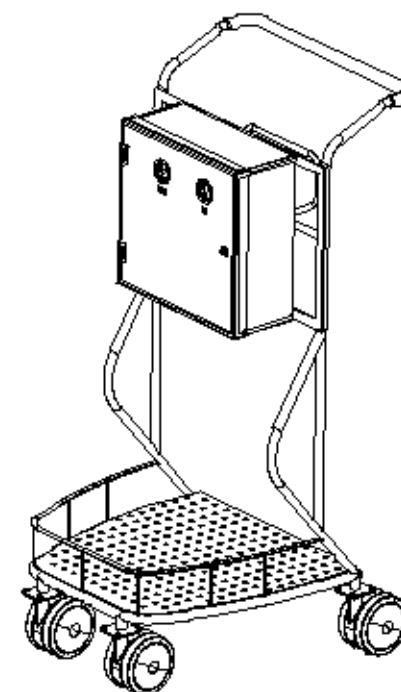
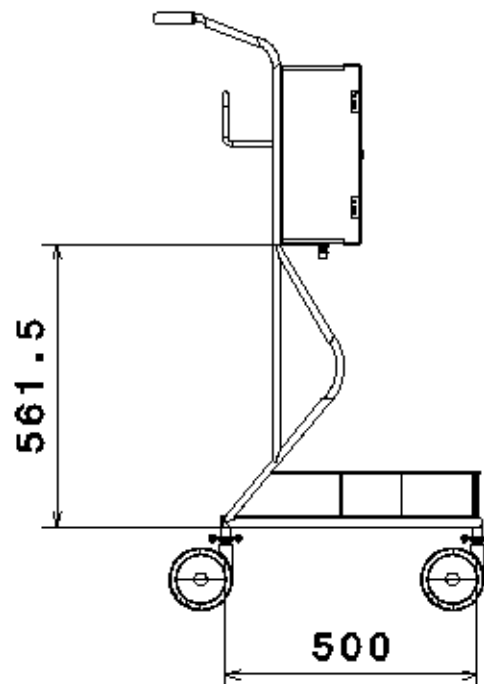
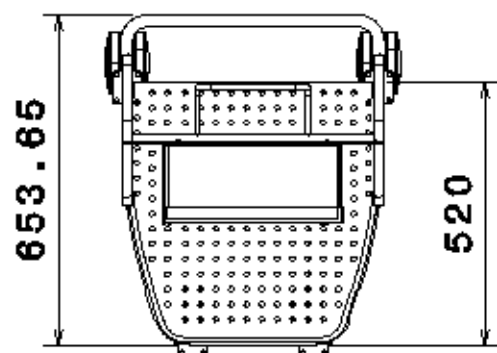
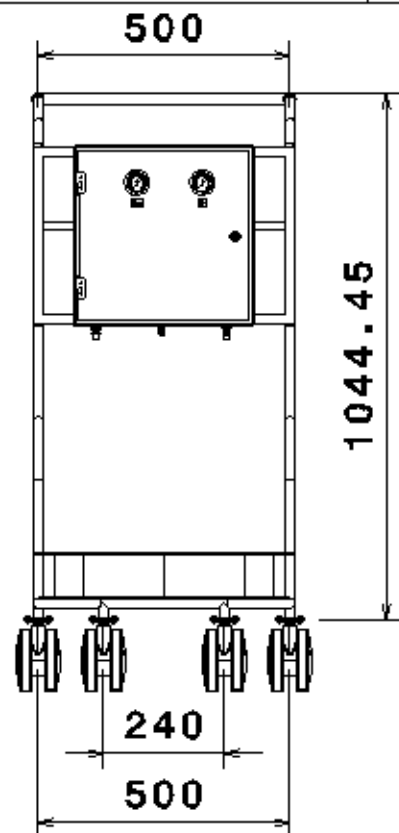
DESIGNED BY:	Departamento de Engenharia Mecânica	I	-
DATE: 30-07-2013		H	-
CHECKED BY:		G	-
DATE:		F	-
SIZE A4	Universidade de Aveiro	E	-
SCALE 1:1		D	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.		C	-
		B	-
	A	-	



DESIGNED BY:	Tiago Ramos
DATE:	26-07-2013
CHECKED BY:	
DATE:	
SIZE	A4
SCALE	1:8

Departamento de Engenharia Mecânica	I	-
	H	-
	G	-
	F	-
	E	-
Universidade de Aveiro	D	-
	C	-
	B	-
Caixa de proteção	A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



DESIGNED BY:	Tiago Ramos	Departamento de Engenharia Mecânica	I	-
DATE:	26-07-2013		H	-
CHECKED BY:			G	-
DATE:			F	-
SIZE	A4	Universidade de Aveiro	E	-
SCALE	1:15		D	-
			C	-
Suporte móvel			B	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.			A	-